TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

29 | 2025

Poste Italiane spa - Tassa pagata - Piego di libro
Aut. n. 072/DCB/FII/VF del 31.03.2005

on line ISSN 2239-0243

OLTRE LA DECARBONIZZAZIONE

beyond decarbonization

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

SITdA

TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

Issue 29
Year 15

Direttore/*Director*
Mario Losasso

Comitato Scientifico/*Scientific Committee*
Gabriella Caterina, Gianfranco Dioguardi, Paolo Felli, Luigi Ferrara, Cristina Forlani, Franz Graf, Helen Lochhead, Maria Teresa Lucarelli, Lorenzo Matteoli, Gabriella Peretti, Edo Ronchi, Fabrizio Schiaffonati, Paolo Tombesi, Maria Chiara Torricelli

Direttore Editoriale/*Editor in Chief*
Elena Mussinelli

Comitato Editorale/*Editorial Board Members*
Filippo Angelucci, Alessandra Battisti, Andrea Boeri, Valeria D'Ambrosio, Paola Gallo, Francesca Giglio, Antonella Violano

Assistenti Editoriali/*Assistant Editors*
Cristiana Celucci, Antonello Monsù Scolaro, Katia Perini, Francesca Thiébat

Segreteria di Redazione/*Editorial Staff*
Francesca Anania, Nazly Atta, Giovanni Castaldo, Maria Fabrizia Clemente, Michele Conteduca, Serena Giorgi, Nicola Panzini, Giulia Vignati

Progetto grafico/*Graphic Design*
Veronica Dal Buono

Progettazione grafica esecutiva/*Executive Graphic Design*
Giulia Pellegrini

Editorial Office
c/o SIT*d*A onlus,
Via Toledo 402, 80134 Napoli
Email: redazionetechne@sitda.net

Issues per year: 2

Publisher
FUP (Firenze University Press)
Phone: (0039) 055 2743051
Email: journals@fupress.com

Journal of SIT*d*A (Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura)

REVISORI / *REFEREES*

Per le attività svolte nel 2023-2024 relative al Double-Blind Peer Review process, si ringraziano i seguenti Revisori:
As concern the Double-Blind Peer Review process done in 2023-2024, we would thanks the following Referees:

2023
Luigi Alini, Vitangelo Ardito, Paola Ascione, Ermina Attaianese, Maria Azzalin, Carla Ballocco, Adolfo Baratta, Antonio Basti, Roberto Bolici, Gianluca Brunetti, Maddalena Buffoli, Laura Calcagnini, Marta Calzolari, Eliana Cangelli, Francesca Castagneto, Cristiana Cellucci, Andrea Ciaramella, Antonio Clemente, Carola Clemente, Cristina Conti, Alessandra Cucurnia, Edoardo Currà, Alberto De Capua, Maria De Santis, Roberto Di Giulio, Domenico D'Olimpio, Massimo Ferrari, Giovanna Fontana,Rossella Franchino, Caterina Frettoloso, Matteo Gambaro, Jacopo Gaspari, Maria Luisa Germanà, Valentina Gianfrate, Roberto Giordano, Danila Longo, Maria Teresa Lucarelli, Adriano Magliocco, Paola Marrone, Antonello Monsù Scolaro, Pietro Nunziante, Filippo Orsini, Franco Pastura, Claudio Piferi, Riccardo Pollo, Donatella Radogna, Manuela Raitano, Marina Rigillo, Alessandro Rogora, Rosa Romano, Massimo Rossetti, Monica Rossi-Schwarzenbeck, Pierluigi Salvadeo, Fabrizio Schiaffonati, Simone Secchi, Antonia Spanò, Cesare Sposito, Silvia Tedesco, Benedetta Terenzi, Maria Chiara Torricelli, Dario Trabucco, Corrado Trombetta, Rosa Maria Vitrano

2024
Luigi Alini, Davide Allegri, Nazly Atta, Ermini Attaianese, Alberto Attilio Bassi, Antonio Basti, Laura Baratin, Adolfo Baratta, Chiara Bedon, Mariangela Bellomo, Oscar Bellini, Mario Bisson, Anita Bianco, Roberto Bolici, Maddalena Buffoli, RAlberto Calderoni, Marta Calzolari, Flaviano Celaschi, Cristiana Cellucci, Rosa Chiesa, Andrea Ciaramella, Domenico Chizzoniti, Alessandra Cucurnia, Federica Dal Falco, Alberto De Capua, Federico De Matteis, Maria De Santis, Pasquale De Toro, Federica Dell'Acqua, Elena Dellapiana, Lucia Della Spina, Domenico D'Olimpio, Antonella Di Luggo, Katia Fabbricatti, Francesco Fabris, Antonella Falotico, Daniele Fanzini, Emilio Faroldi, Massimo Ferrari, Enrico Formato, Fabiana Forte, Marina Fumo, Matteo Gambaro, Andrea Giachetta, Angela Giambattista, Serena Giorgi, Roberto Giordano, Francesca Giofrè, Elisabetta Ginelli, Valentina Gianfrate, Salah Haj Ismail, Senka Ibrišimbegović, Carla Langella, Mattia Leone, Maria Teresa Lucarelli, Viktor Malakuczi, Adriano Magliocco, Carmen Mariano, Rossella Maspoli, Alfonso Morone, Antonello Monsù Scolaro, Francesca Muzzillo, Consuelo Nava, Pietro Nunziante, Filippo Orsini, Spartaco Paris, Francesco Pastura, Gabriella Peretti, Riccardo Pollo, Gabriella Pultrone, Andrei-Gheorghe Racolta, Donatella Radogna, Ernesto Ramon Rispoli, Raimonda Riccini, Chiara Rizzi, Rosa Romano, Massimo Rossetti, Massimo Sale Musio, Fabrizio Schiaffonati, Alessandro Sgobbo, Simone Secchi, Nicoletta Setola, Cesare Sposito, Silvia Tedesco, Enza Tersigni, Benedetta Terenzi, Maria Chiara Torricelli, Francesca Tosi, Ferdinando Trapani, Viviana Trapani, Dario Trabucco, Gaia Turchetti, Carlo Vannicola, Teresa Villani, Ignazio Vinci, Rosa Maria Vitrano

SIT*d*A
Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura

OLTRE LA DECARBONIZZAZIONE verso un ambiente urbano Climate Neutral
BEYOND DECARBONIZATION toward a Climate Neutral urban environment

INTRODUZIONE AL TEMA *INTRODUCTION TO THE ISSUE*

7 | Ambiti urbani *climate neutral*
Climate neutral urban areas
Mario Losasso, Presidente SITdA

EDITORIALE *EDITORIAL*

9 | Più con meno: il necessario e sufficiente
More with less: only the necessary and sufficient
Elena Mussinelli

DOSSIER a cura di/*edited by* Alessandra Battisti e Antonella Violano

13 | Strategie integrate per la neutralità climatica: resilienza urbana, co-creazione e innovazione
Integrated strategies for climate neutrality: urban resilience, co-creation, and innovation
Alessandra Battisti, Antonella Violano

20 | Verso un ambiente costruito *Climate Neutral*: sfide e strategie della Progettazione Ambientale
Towards a climate neutral built environment: challenges and strategies of environmental design
Fabrizio Tucci

31 | Città resilienti e cambiamento climatico
Resilient cities and climate shift
Philippe Rahm

37 | Può *Laudato Si'* ispirare una rivoluzione della sufficienza in architettura?
Laudato Si': *Can it inspire a sufficiency revolution in architecture?*
David Ness

45 | *Polinature*, un prototipo per uno spazio di convivenza bioclimatico
Polinature, a prototype for a plug-in bioclimatic urban oasis
Belinda Tato, Jose Luis Vallejo, Marco Rizzetto, Lily Liebes

REPORTAGE a cura di/*edited by Francesca Thiébat and Cristiana Cellucci*

52 | Quale natura in una città snaturata?
What is nature in a denaturalised city?
Francesca Thiébat, Cristiana Cellucci

CONTRIBUTI *CONTRIBUTIONS*

SAGGI E PUNTI DI VISTA *ESSAYS AND VIEWPOINTS*

61 | Tree Hubs. La città sostenibile e il progetto di giardini e foreste urbane circolari. Il caso Olandese
Tree Hubs: The city as a sustainable scenario of circular gardens and forests. The case of the Dutch Region
Chiara Pradel

69 | Trasformare l'edilizia residenziale pubblica in comunità energetiche: sfide e opportunità
Transforming Social Housing Neighbourhoods into Energy Communities: Challenges and Opportunities
Elnaz Behnam Kia

79 | Città che si nutrono. Nuovi scenari transcalari per l'Agricoltura Urbana
Feeding cities: new trans-scale scenarios for Urban Agriculture
Leonardo Zaffi, Michele D'Ostuni

89 | *Productive housing for self-sufficient communities*
Productive housing for self-sufficient communities
Paolo Cascone, Maddalena Laddaga, Filippo Orsini

100 | Linee di tendenza nella progettazione di *vertical farm*. Verso un approccio biodinamico?
Trends in vertical farm designs. Towards a biodynamic approach?
Gian Luca Brunetti

108 | Materiali biogenici per la decarbonizzazione dell'ambiente costruito
Biogenic materials for decarbonisation of the built environment
Francesca Thiébat, Fiamma Morselli

118 | *Carbon storage* e materiali rinnovabili: i *trade-off* della risorsa legno
Carbon storage and renewable materials: the trade-offs of the timber resource
Elisa Zatta

127 | Post-decarbonizzazione e Intelligenza Artificiale Generativa. Verso una possibile metodologia operativa
Post-decarbonisation and Generative Artificial Intelligence. Towards a possible methodology
Angelo Figliola, Maurizio Barberio

RICERCA E SPERIMENTAZIONE *RESEARCH AND EXPERIMENTATION*

137 | *Retrofitting* tecnologico per distretti *carbon neutral*: nuovi approcci di *bioclimatic design*
Technological retrofitting for carbon-neutral districts: New approaches in bioclimatic design
Domenico D'Olimpio, Valeria Cecafosso, Gaia Turchetti

149 | Il progetto delle comunità energetiche: ottimizzazione tra ambiente, tempo e luogo
The design of energy communities: optimising environment, time and place
Chiara Scanagatta, Massimiliano Condotta

161 | *City Harvest*: Progettazione di servizi e spazi intelligenti con comunità collaborative per la produzione alimentare
City Harvest: Smart service and place design with collaborative communities on food production
Aysegul Ozbakir Acimert, Matthew Hexemer, Soundharya Shivamadaiah, Dhruvkumar Patel, Derek Schmucker

175 | Sistemi agrivoltaici innovativi: soluzioni integrate per habitat *climate resilient*
Innovative agrivoltaic systems: integrated solutions for climate resilient habitats
Valeria D'Ambrosio, Enza Tersigni

186 | Sistemi innovativi di coltivazione urbana, come strategie per la neutralità carbonica
Innovative urban farming systems as strategies for carbon neutrality
Marco Migliore, Matteo Clementi

195 | Biotecnologie e greening urbano: l'approccio Zero Mile
Biotechnologies and urban greening: the Zero Mile approach
Attilio Nebuloni, Fiammetta Costa, Giorgio Buratti, Matteo Meraviglia, Luciana Migliore, Annamaria Alabiso, Valerio Cantelmo

205 | Oasi urbane blu-verdi: generare nuovi punti freschi nei quartieri troppo caldi
Blue-green urban oasis: creating strategic cool spots in overheated neighbourhoods
Mariana Pereira Guimarães, Valentina Dessì

219 | Ottimizzare l'adattamento al cambiamento climatico nei *canyon* urbani con *data reasoning*
Data reasoning to shape tree patches: optimising climate change adaptation in urban canyons
Francesca Mosca, Gabriele Oneto, Martina Guasco, Katia Perini

229 | Rigenerazione Urbana *Green*: Progettare *Streetscapes* resilienti al clima attraverso NbS
Urban Green Regeneration: Design exploration for climate-resilient Streetscapes through NbS
Alessandro Raffa, Monica Moscatelli

240 | Circolarità delle risorse, energia solare e bioclimatica per l'edificio storico *Climate Neutral*
Resource circularity, solar energy and bioclimatics for the Climate Neutral historic building
Serena Baiani, Paola Altamura, Giada Romano

254 | Verde pensile, tecnologie digitali e gestione dell'acqua piovana
Hanging green, digital technologies and stormwater management
Maria Antonia Barucco, Marta Possiedi, Fausto Barbolini, Federica Crosato

265 | BE-WoodEN: soluzioni innovative a basse emissioni di carbonio per la costruzione in legno con approccio New European Bauhaus
BE-WoodEN: innovative low carbon solutions in wood construction through the NEB approach
Giovanna Franco, Alessandro Bosso,Marta Casanova,Maria Canepa, Irene Diti, Margherita Marinelli, Alice Pittini

273 | Patrimonio Costruito e Ambiente: tecniche di progettazione sostenibile in legno alla Wooler Schoolhouse
Heritage and Habitat: Sustainable timber design techniques at the Wooler Schoolhouse
Luigi Ferrara, Veronica Madonna, Stefano Sartorio

289 | Riscoprire le fibre naturali per l'architettura tessile
Natural fibre sourcing for textile architecture
Ilaria Pugliese, Samica Sadik, Alessandra Zanelli

299 | Materiali tessili e strategie di riqualificazione. Nuove frontiere per l'efficienza energetica
Textile materials and retrofit strategies. New frontiers for energy efficiency
Giulia Procaccini

309 | Progettazione climatica di strutture leggere per migliorare la vivibilità degli ambienti urbani
Climate conscious design of light structures for improving the liveability of urban environments
Rossella Siani, Francesco De Luca

317 | Un "AMICO" (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) per il BIM
"AMICO" (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) for BIM
Federica Gallina, Roberto Giordano, Massimiliano Lo Turco, Benedetta Quaglio, Andrea Tomalini

DIALOGO *DIALOGUE* a cura di/*edited* by Antonella Violano

327 | Oltre vs Dentro la decarbonizzazione
Beyond vs. Within decarbonisation
Antonella Violano/Alberto Celani/Edward S. Rubin

333 RECENSIONI *REVIEWS* a cura di/*edited* by Francesca Giglio

336 | Jos Delbeke (Ed.). *Delivering a Climate Neutral Europe*
Carol Monticelli

338 | Fabrizio Tucci et al. *Verso la neutralità climatica di architetture e città green. Approcci, indirizzi, strategie, azioni. Sperimentazioni e casi studio del Nord e Mittel Europa. Sperimentazioni e casi studio del Sud Europa e in area mediterranea*
Monica Cannaviello

340 | Valeria D'Ambrosio, Marina Rigillo and Enza Tersigni (Eds.). *Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof*
Marta Calzolari

343 | Luciano Cupelloni (Ed.). *L'Albero della Tecnologia. Dagli elementi costruttivi alla progettazione tecnologica ambientale. Riflessioni sulla didattica della Tecnologia dell'architettura nella Scuola di Roma a 100 anni dalla fondazione*
Alessandro Claudi de Saint Mihiel

INNOVAZIONE E SVILUPPO INDUSTRIALE *INNOVATION AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT*

a cura di/*edited* by Alessandro Claudi de Saint Mihiel

346 | Il paradigma "Industria 5.0": potenzialità e barriere verso la decarbonizzazione del settore
The "Industry 5.0" paradigm: opportunities and barriers to industrial decarbonization
Antonello Monsù Scolaro, Davide Settembre Blundo

Mario Losasso, Presidente SITdA, https://orcid.org/0000-0003-3251-8747
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia
losasso@unina.it

Abstract. Mentre la decarbonizzazione è individuata in un sistema di azioni tecniche finalizzate alla riduzione delle emissioni di CO_2, il concetto di *climate neutrality* rappresenta una evoluzione delle strategie e delle azioni di contrasto del cambiamento climatico sia perché considera la riduzione delle emissioni di tutti i gas serra, sia perché tende ad assumere un valore strategico e culturale di protezione del clima, con un progressivo coinvolgimento del sistema produttivo e dell'organizzazione delle città. Approcci efficaci al progetto riguardano nuove modalità e priorità nella sua concezione attraverso un utilizzo efficiente delle risorse e una migliore infrastrutturazione urbana, anche attraverso le green infrastructure, con la capacità di integrare gli edifici in contesti rinaturalizzati. Per interpretare, gestire e riprogrammare l'azione innovativa nel campo della rigenerazione urbana e del progetto architettonico occorre ricomporre, attualizzandolo, il rapporto tra le comunità e la natura attraverso gli strumenti, i dispositivi abilitanti e i medium della cultura e della tecnologia.

Parole chiave: Resilienza climatica; Transizione *climate-neutral*; Ambiente costruito; Politiche tecniche.

Il cambiamento climatico rappresenta oggi un fattore ambientale dirompente che impone di superare gli approcci convenzionali al progetto di rigenerazione urbana alle varie scale, introiettando gli obiettivi di riduzione della vulnerabilità e dell'esposizione, nonché delle cause che determinano il riscaldamento globale visto come forzante antropogenica del nuovo regime climatico. In questa condizione che va espandendosi con rapidità, si richiede una capacità di prevenzione e riduzione dei danni dovuti agli eventi climatici estremi ed intensi, sia l'attitudine ad attivare scelte progettuali che rappresentino opportunità di innovazione rispetto all'avanzamento della crisi climatica.
Le implicazioni ambientali diventano un fattore di indirizzo decisivo per il progetto, secondo la necessaria convergenza fra una pluralità di saperi e di competenze che sia adeguata alla complessità delle trasformazioni prefigurabili. Con l'avanzamento della ricerca internazionale e con il perfezionamento delle policies in contesti avanzati come quello europeo, è diventato necessario far evolvere le politiche tecniche di decarbonizzazione, finalizzate alla sola riduzione delle emissioni di anidride carbonica, verso un approccio di riduzione di tutte le emissioni climalteranti. Con questa visuale più ampia, è possibile perseguire una resilienza climatica capace di integrare le azioni di adattamento agli impatti con quelle indirizzate alla mitigazione delle cause del *climate change* e a una comune sinergia con gli obiettivi dello sviluppo sostenibile fissati dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite.
Mentre la decarbonizzazione è inquadrabile in un sistema di azioni tecniche finalizzate alla riduzione delle emissioni di CO_2, anche attraverso meccanismi di compensazione sui quali sussistono tuttavia dubbi a causa di possibili sovrastime del loro impatto, il concetto di *climate neutrality* rappresenta una evoluzione non solo perché considera la riduzione delle emissioni di tutti i gas serra. La climate nautrality tende infatti ad assumere un valore strategico e culturale di protezione del clima, con un progressivo coinvolgimento del sistema produttivo e dell'organizzazione delle città, dell'erogazione di servizi e dello sviluppo di azioni che intercettano le sfide socioeconomiche, del contrasto della povertà, dell'inclusione sociale e delle disuguaglianze, del miglioramento delle condizioni della salute umana (Perulli, 2021). Il punto di vista climate neutral impone inoltre un ragionamento critico sulle tecnologie che vanno considerate nelle loro implicazioni socio-ecologiche e non soltanto sul versante performativo, produttivo e innovativo (Losasso *et al.,* 2024).
Un elemento cardine per il raggiungimento della neutralità climatica è costituito dal programma *Fit for 55*, un pacchetto di riforme presentato dalla Commissione Europea nel 2021 come parte del Green Deal e approvato dal Parlamento europeo il 18 aprile 2023, il cui obiettivo è il raggiungimento della neutralità climatica in Europa entro il 2050 (European Commission,

CLIMATE NEUTRAL URBAN AREAS

Abstract. While decarbonisation is identified in a system of technical actions aimed at reducing CO_2 emissions, the concept of climate neutrality represents an evolution of climate change coping strategies. Indeed, it considers the reduction of emissions of all greenhouse gases and tends to assume a strategic and cultural value of climate protection, with progressive involvement of the production system and the organisation of cities. Effective approaches to design involve new ways and priorities in Its conception through efficient use of resources and improved urban infrastructure, including green infrastructure, with the capability of integrating buildings into renaturalised contexts. Interpreting, managing and reprogramming innovative action in urban regeneration and architectural design requires recomposing, actualising, the relationship between communities and nature through the tools, enabling devices and mediums of culture and technology.

Keywords: Climate resilience; Climate-neutral transition; Built environment; Technical policies.

Today climate change is a disruptive environmental factor that requires going beyond conventional approaches to urban regeneration design at different scales, introjecting the goals of vulnerability and exposure reduction, as well as the drivers of global warming seen as anthropogenic enforcers of the new climate regime. In this rapidly expanding condition, the ability to prevent and reduce damage caused by extreme and intense climatic events is required, as well as the aptitude to activate design choices that offer opportunities for innovation regarding the advancing climate crisis.
Environmental implications provide a decisive direction for designing actions based on the necessary convergence of diversified knowledge and expertise that can adequately face the complexity of prefigured transformations. With the advancement of international research and the improvement of policies in advanced contexts such as Europe, it has become necessary to evolve technical decarbonisation policies, currently aimed only at reducing carbon dioxide emissions, toward an approach focused on reducing all greenhouse gas emissions. This broader view allows to pursue climate resilience capable of integrating impact adaptation actions with those directed towards mitigating the causes of climate change and establishing a common synergy with the sustainable development goals set by the United Nations 2030 Agenda.
While decarbonisation is identified in a system of technical actions aimed at reducing CO_2 emissions, including through compensatory mechanisms about which, however, there are doubts due to possible overestimation

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17666

2021). Come tappa intermedia, il 2030 rappresenta il termine entro cui l'Unione Europea dovrà aver raggiunto l'obiettivo target di riduzione del 55% delle emissioni climalteranti rispetto al 1990. Pur nelle perplessità sulla reale capacità di raggiungimento di questo target nei termini prefissati, le politiche dell'Unione Europea per la ricerca e l'innovazione attribuiscono rilevanza cruciale al processo di transizione climate-neutral dell'ambiente costruito (European Union, 2021). Anche in Italia, l'approvazione di misure per la neutralità climatica potrà sostenere il ruolo delle città e degli enti locali nell'adozione di politiche tecniche in grado di attuare gli obiettivi attraverso azioni concrete. Oltre all'urgenza di agire con determinazione per contrastare i cambiamenti climatici in atto e ridurre i rischi attesi, è necessario perseguire l'obiettivo di un passaggio dalle strategie alle azioni e alla verifica delle loro ricadute.

Approcci efficaci al progetto riguardano nuove modalità e priorità nella sua concezione attraverso un utilizzo efficiente delle risorse e una migliore infrastrutturazione urbana, anche attraverso le green infrastructure, con la capacità di integrare gli edifici in contesti rinaturalizzati. Ulteriori aspetti sono finalizzati a rendere ecologica la mobilità, incrementare il greening urbano, adottare fonti energetiche rinnovabili in sostituzione di quelle fossili, sviluppare forme di autoproduzione energetica e del food, migliorare il funzionamento passivo e bioclimatico degli edifici, incrementare gli spazi di prossimità, utilizzare tecnologie costruttive a basso impatto ambientale, sviluppare processi di gestione circolare delle risorse. Risultati efficaci di sostegno alla transizione climatica degli ambiti urbani potranno ottenersi con l'adozione di una governance green del processo edilizio e il coinvolgimento di una molteplicità di attori, dal mondo dell'imprenditoria a quello delle professioni, dal mondo della ricerca a quello degli enti e della pubblica amministrazione.

Per interpretare, gestire e riprogrammare l'azione innovativa nel campo della rigenerazione urbana e del progetto architettonico occorre ricomporre, attualizzandolo, il rapporto tra le comunità e la natura attraverso gli strumenti, i dispositivi abilitanti e i medium della cultura progettuale e della tecnologia. La transizione verso la consapevolezza dell'interdipendenza fra natura, cultura e tecnologia, non può che basarsi su una fondata eteronomia disciplinare tenendo conto sia dei valori di riferimento, sia della indispensabile verifica e misurabilità delle ricadute del progetto. Nel superamento dell'antropocentrismo verso approcci *human* ed *environment centered*, le implicazioni ambientali, oltre che sociali, diventano determinanti e irrinunciabili nelle scelte progettuali e nell'uso delle tecnologie che, come è noto, non risultano mai neutrali.

REFERENCES

European Union (2021), *Direttiva 2021/1119 del Parlamento Europeo e del Consiglio, che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica.* Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119 (Accessed 29.06.2024).

European Commission (2021), *Fit for 55: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*. Brussels: European Commission. Available at: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en (Accessed 21.07.2024).

Losasso, M, Attaianese, E. and Rigillo, M. (Eds) (2024), *Innovazioni convergenti per lo spazio abitabile*, CLEAN, Napoli.

Perulli, P. (2021), *Nel 2050. Passaggio al nuovo mondo,* il Mulino, Bologna.

of their impact, the concept of climate neutrality marks an evolution. Indeed, it addresses the reduction of emissions of all greenhouse gases. Climate neutrality acquires strategic and cultural value concerning climate protection, with progressive involvement of the production system and the organisation of cities, service delivery and development of actions that intercept socioeconomic challenges, poverty reduction, social inclusion and inequality, and improvement of human health conditions (Perulli, 2021). The climate neutral point of view also calls for critical thinking about technologies, whose social-ecological implications must be considered, besides the performative, productive and innovative aspects (Losasso *et al.,* 2024).

A central element in achieving climate neutrality is the program Fit for 55, a package of reforms presented by the European Commission in 2021 as part of the Green Deal, and approved by the European Parliament on 18 April 2023. Its goal is to achieve climate neutrality in Europe by 2050 (European Commission, 2021). As an intermediate step, 2030 marks the deadline by which the European Union must have achieved the target goal of a 55 percent reduction in climate-changing emissions, compared to 1990. While there are doubts about the actual ability to achieve this target within the set timeframe, the European Union's research and innovation policies give crucial importance to the climate-neutral transition process of the built environment (European Union, 2021). In Italy, too, the approval of climate neutrality measures may support the role of cities and local authorities in adopting technical policies capable of implementing the goals through concrete actions. In addition to the urgency of acting decisively to counteract ongoing climate change and reduce the expected risks, a shift from strategies to actions and verification of their impacts must be pursued.

Effective approaches to design involve new methods and priorities adopted through efficient use of resources and improved urban infrastructure, including through green infrastructure, with the ability to integrate buildings in re-naturalised contexts. Additional aspects are aimed at ecological mobility, increasing urban greening, adopting renewable energy sources to replace fossil fuels, developing forms of self-production of energy and food, improving passive and bioclimatic performance of buildings, increasing in-between spaces, using low impact building technologies, and developing circular resource management processes. Effective results in supporting the climate transition of urban areas will be achieved with the adoption of green governance of the building process, and the involvement of several players, including entrepreneurs and professionals, researchers, institutions and public administration.

To understand, manage, and reprogramme innovative action in the field of urban regeneration and architectural design, the relationship between communities and nature must be recomposed and actualised through tools, enabling devices, and mediums of design culture and technology.

The transition to awareness of the interdependence of nature, culture and technology can only be based on a well-founded disciplinary heteronomy, considering both reference values and the necessary testing and measurability of the project's impacts. In moving beyond anthropocentrism toward human and environment-centred approaches, environmental, as well as social, implications become decisive and necessary in design choices and the use of technologies, which are never neutral, as widely known to all.

PIÙ CON MENO: IL NECESSARIO E SUFFICIENTE

Elena Mussinelli, https://orcid.org/0000-0002-4521-522X
Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia
elena.mussinelli@polimi.it

Già negli anni '70, scienziati e attivisti ambientali avevano iniziato a porre l'attenzione – in termini allarmistici – sulle conseguenze derivanti dalle attività antropiche in termini di cambiamento climatico, depauperamento delle risorse ambientali e alterazione degli equilibri ecosistemici, ma solo negli ultimi anni il concetto di "neutralità climatica" è entrato a tutti gli effetti quale obiettivo strategico delle agende programmatiche internazionali e comunitarie. Né il Protocollo di Kyoto del 1997 (uno dei primi tentativi di affrontare il problema del cambiamento climatico attraverso la riduzione delle emissioni di gas climalteranti), né l'Accordo di Parigi del 2015 (con un impegno quasi globale a limitare l'incremento della temperatura media a 1,5°C, per raggiungere un "equilibrio tra le fonti di emissioni e gli assorbimenti antropogenici di gas a effetto serra") impiegavano infatti esplicitamente il termine "neutralità climatica".
Il piano del 2019 per il *Green Deal* europeo ha certamente dato un significativo impulso alla diffusione del termine, sia a livello politico e della negoziazione internazionale, sia nel quadro di una crescente consapevolezza delle comunità locali e delle imprese circa il carattere di necessità di una decisa svolta nei comportamenti e nei modi di produzione e di consumo al fine di ridurre drasticamente le emissioni di gas serra, così limitando l'aumento della temperatura media globale, e di mitigare gli impatti più gravi del cambiamento climatico.
La costruzione di edifici e infrastrutture costituisce uno snodo cruciale del problema (circa il 40%delle emissioni e dei rifiuti, e il 50% dell'estrazione di risorse, oltre al consumo di suolo e alla perdita di biodiversità, tuttora ancora in crescita) e non a caso le città sono chiamate a svolgere un ruolo essenziale nei processi di decarbonizzazione (*EU Mission* "100 climate-neutral and smart cities by 2030").
Ma al di là delle enunciazioni programmatiche, anche molto articolate a ricomprendere un sistema integrato di interventi in risposta all'emergenza climatico-ambientale, non si può non rilevare come le azioni per la decarbonizzazione siano ancora largamente incentrate sulla questione energetica, ovvero sul favorire la transizione alle rinnovabili e l'efficientamento dell'ambiente costruito (Ness, 2024). Quasi come se il settore edilizio e il mercato immobiliare possano continuare a svilupparsi consumando suolo e risorse, con il solo impegno/obbligo di essere a "emissioni zero" entro il 2050. E con una limitatissima considerazione della necessità, invece, di "restituire" suolo e risorse (in palese contraddizione con gli obiettivi e obblighi di ripristino ambientale e di recupero della biodiversità definiti dalla *Nature Restoration Law*, con le correlate misure vincolanti[1]).
Peraltro, anche le varie forme di incentivazione volte a favorire il retrofit energetico degli edifici e un maggior impiego di energie rinnovabili e di tecnologie atte a ridurre le emissioni non sono prive di criticità, se si pensa ad esempio, oltre alla questione "*bonus*", anche al sistema di scambio delle quote di emissione (ETS), la cui efficacia richiede meccanismi di aggiustamento (limitazione del numero totale di quote disponibili che obblighi di fatto a ridurre effettivamente le emissioni, contenendo il rischio di un "pareggio" nel bilancio totale delle emissioni) e una stretta integrazione con altre politiche climatiche e ambientali (tassazione sul carbonio, regolamentazioni stringenti su tutte le emissioni inquinanti – inclusi il metano e gli altri gas serra – e sulla tutela/rispristino deli ecosistemi naturali che svolgono un ruolo cruciale nella cattura e stoccaggio della CO_2), in un qua-

MORE WITH LESS: ONLY THE NECESSARY AND SUFFICIENT

Already in the 1970s, scientists and environmental activists began raising the alarm about the consequences of anthropogenic activities in terms of climate change, depletion of environmental resources, and the disruption of ecosystem balances. However, it is only in recent years that the concept of "climate neutrality" has fully entered the strategic objectives of international and community policy agendas. Neither the 1997 Kyoto Protocol (one of the first attempts to address climate change by reducing greenhouse gas emissions) nor the 2015 Paris Agreement (which aimed for a near global commitment to limit the increase in average temperature to 1.5°C and achieve a "balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases") explicitly employed the term "climate neutrality".
The 2019 European Green Deal played a significant role in promoting the term across political and international negotiation contexts. It also raised awareness among local communities and businesses about the need to change production and consumption behaviours to reduce greenhouse gas emissions, limit the rise in global average temperature, and mitigate the impacts of climate change.
The construction of buildings and infrastructure represents a critical point of the issue, accounting for approximately 40% of emissions and waste, 50% of resource extraction, as well as soil consumption and biodiversity loss. These trends are still on the rise. Unsurprisingly, cities are called upon to play an essential role in decarbonisation processes (EU Mission "100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030").
Besides programmatic declarations, which often encompass an integrated system of interventions addressing the climate and environmental emergency, it is evident that decarbonisation actions remain largely focused on energy issues, promoting the transition to renewables and the energy efficiency of the built environment (Ness, 2024). This approach seems to suggest that the building sector and real estate market can continue to develop by consuming land and resources, as long as they commit to achieving "zero emissions" by 2050. There is limited acknowledgment of the need to "restore" land and resources. This directly contradicts the objectives and obligations for environmental restoration and biodiversity recovery established by the Nature Restoration Law and its binding measures[1].
Moreover, the various incentives aimed at promoting the energy retrofit of

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17667

dro di piena trasparenza e monitoraggio continuo. Ambiti nei quali il contesto italiano non è esattamente all'avanguardia… Senza considerare poi tutti quagli elementi di instabilità e incertezza che sempre caratterizzano le condizioni di transizione, con accelerazioni, arresti, a volte anche regressioni…

Non si tratta quindi di sposare visioni più o meno ottimistiche o pessimistiche circa l'auspicato raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica, quanto di assumere un atteggiamento critico consapevole dei limiti delle azioni intraprese e anche delle scelte di investimento effettuate. Anche nella già citata "missione per le città" – con 360 milioni di euro di finanziamenti da Orizzonte Europa per il periodo 2021-23 destinati ad avviare i percorsi di innovazione verso la neutralità climatica entro il 2030 – i vantaggi urbani enfatizzati sembrano riguardare più «la possibilità di ricevere consulenza e assistenza su misura da parte di un'apposita piattaforma della missione gestita da *NetZeroCities*, nuove opportunità di ottenere sovvenzioni e finanziamenti, […] di creare reti […] lo scambio di buone pratiche […] e l'aumentata visibilità» (*EU Mission* "100 climate-neutral and smart cities by 2030") che non una reale riduzione delle emissioni e/o l'effettivo miglioramento della qualità ambientale urbana…

Peraltro, la prima edizione della Missione è stata pubblicata il 26 novembre 2021, e siamo ora alla terza edizione (20 marzo 2024): quattro anni trascorsi con traguardi sostanzialmente immutati (ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990 di almeno il 55% entro il 2030 e del 90% entro il 2040, per raggiungere la neutralità climatica al 2050), e scarsi i dati a disposizione esito di un piano di monitoraggio dell'efficacia delle azioni intraprese. Un aspetto questo di particolare rilevanza, anche nei termini più generali, per la valutazione degli investimenti comunitari e nazionali, variamente distribuiti alle diverse città e aree geografiche, spesso in assenza di una adeguata considerazione circa la loro adeguatezza rispetto alle peculiarità, alle criticità e alle necessità prioritarie che connotano i diversi contesti territoriali, nonché alla loro capacità di moltiplicare i benefici derivanti dall'attuazione degli interventi (Savino and Fregolent, 2023).

I contenuti del Dossier, dei saggi e dei contributi di ricerca selezionati per questo numero di TECHNE rendono conto della possibilità di ampliare lo spettro di azione, estendendolo rispetto a una dimensione multiscalare degli interventi.

Gli spazi pubblici aperti rappresentano un primo ambito strategico di sperimentazione nel quale gli obiettivi di neutralità climatica si intersecano con quelli di incremento della qualità ambientale, anche sotto il profilo della fruibilità, perseguiti attraverso azioni di *urban greening*, la formazione di oasi *blu-green* per il raffrescamento, l'impiego di biotecnologie e soluzioni *nature-based*, l'ottimizzazione della configurazione delle alberature per favorire la mitigazione e l'adattamento ai fenomeni di surriscaldamento nei *canyon* urbani, o ancora per la rigenerazione degli *streetscapes*, con il ricorso a processi e strumenti digitali multicriteriali, a metodologie di *data reasoning* e ad approcci *Zero Mile*, caratteristici del progetto tecnologico ambientale.

Un ruolo di primo piano è svolo poi dal complesso sistema di azioni che ruota attorno al tema della rigenerazione bioclimatica di distretti *carbon-neutral* e della valorizzazione degli ambiti periferici e periurbani attraverso la funzione produttiva – ma anche ambientale ed ecosistemica – dell'agricoltura (*vertical farms*, sistemi agrivoltaici innovativi, nuovi sistemi

buildings and greater use of renewable energy and emission-reduction technologies are not without criticism. For example, aside from the controversial "bonus" mechanisms, the emissions trading system (ETS) requires adjustment mechanisms (e.g., limiting the total number of available quotas to effectively reduce emissions and prevent mere "balancing" of the overall emission budget), and must be tightly integrated with other climate and environmental policies. These include carbon taxation, stringent regulations on all air pollutants – including methane and other greenhouse gases – and the protection/restoration of natural ecosystems that play a crucial role in CO_2 capture and storage. Such policies must operate within a framework of full transparency and continuous monitoring – an area where the Italian context is not exactly at the forefront. Additionally, the inherent instability and uncertainty of transition conditions – characterised by accelerations, halts, and even regressions – cannot be overlooked.

Thus, the goal is not to adopt overly optimistic or pessimistic views regarding the achievement of climate neutrality but rather to adopt a critical approach, taking into account the limitations of current actions and investment choices. Even in the aforementioned "Mission for Cities" – with €360 million in Horizon Europe funding for 2021-2023 to initiate innovation pathways toward climate neutrality by 2030 – the emphasised urban advantages seem to focus more on «the possibility of receiving tailored advice and assistance from a dedicated mission platform managed by NetZeroCities, new opportunities to obtain grants and funding, […] network creation […] exchange of best practices […] and increased visibility» (EU Mission "100 climate-neutral and smart cities by 2030"), than on achieving substantial emission reductions or tangible improvements in urban environmental quality.

It is worth noting that the first edition of the Mission was published on 26 November 2021, and the third edition followed on 20 March 2024. Four years have passed with largely unchanged targets (e.g., reduce net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030 and 90% by 2040 compared to 1990 levels, achieving climate neutrality by 2050). However, data monitoring on the effectiveness of implemented actions remains scarce. This is a particularly relevant aspect for evaluating community and national investments distributed across cities and geographic areas, often without adequate consideration of their appropriateness for specific territorial characteristics, challenges, and priorities, or their capacity to multiply the benefits of implemented interventions (Savino and Fregolent, 2023).

The contents of the Dossier, essays and research contributions selected for this issue of TECHNE highlights the potential to broaden the scope of action, extending it across multiscalar intervention dimensions.

Public open spaces are a strategic experimental domain where climate neutrality objectives intersect with those of improving environmental quality and usability. These goals are pursued through urban greening initiatives, the creation of blue-green oases for cooling, the use of biotechnologies and nature-based solutions, optimised tree configurations for mitigating and adapting to urban heat phenomena, streetscape regeneration, and digital multicriteria processes such as data reasoning and Zero Mile approaches

di coltivazione urbana, housing produttivo, ecc.), con notevoli potenzialità derivanti sia dall'applicazione della dimensione comunitaria e collaborativa a pratiche di autosufficienza nella produzione di cibo, sia dalla formazione di comunità energetiche (con esiti interessanti anche nel contesto degli insediamenti di edilizia residenziale pubblica).
Anche alla scala dell'edificio e delle soluzioni tecniche e materiche non mancano gli apporti innovativi, largamente incentrati sui principi dell'impiego circolare delle risorse, anche con l'utilizzo di tecnologie digitali applicate al design parametrico e ai sistemi di fabbricazione, con esempi relativi a soluzioni per il verde pensile, alla gestione dell'acqua piovana, ai materiali rinnovabili – con un ampio spazio occupato dalla risorsa legno – e biogenici (fibre naturali e materiali tessili applicati alle nuove costruzioni e al retrofit dell'esistente).
Anche nell'ambio della ricerca industriale, infine, questo numero di TECHNE documenta sperimentazioni interessanti, che testimoniano di un impegno imprenditoriale volto alla decarbonizzazione e alla circolarità, anche attraverso l'innovazione digitale (Accordi per l'Innovazione cofinanziati dal Ministero delle Imprese e del *Made in Italy* negli ambiti dei sistemi avanzati di produzione nelle industrie circolari e dell'intelligenza artificiale applicata alle tecnologie di fabbricazione).
In conclusione, la decarbonizzazione costituisce un passo necessario ma non sufficiente per affrontare la complessità della crisi climatico-ambientale, soprattutto se non orientato da un approccio multidimensionale volto a ricomprendere – e integrare sinergicamente – un più ampio sistema di azioni: riduzione delle emissioni degli altri gas serra e inquinanti (UNEP, 2024a), protezione degli ecosistemi e ripristino della biodiversità, interventi *site specific* per la mitigazione e l'adattamento agli impatti deli cambiamento climatico, drastica riduzioni degli sprechi nel consumo di materiali e risorse non rinnovabili, triplicato negli ultimi 50 anni (UNEP, 2024b), limitazione delle nuove costruzioni a favore di interventi di rinaturazione e rigenerazione ambientale e di riuso adattivo.
Occorre quindi lavorare per fare *more with less*, dando priorità al necessario e al sufficiente. Lontano da una visione regressiva di decrescita, ma nella linea dello sviluppo sostenibile e possibile ben delineata nella conversazione con Edward Rubin.

NOTE

[1] 2024/1991 Regolamento (UE) 2024/1991 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 giugno 2024 sul ripristino della natura e che modifica il regolamento (UE) 2022/869; Capo II Obiettivi e obblighi di ripristino, Articolo 4 Ripristino degli ecosistemi terrestri, costieri e di acqua dolce, punto 1.Gli Stati membri mettono in atto le misure di ripristino necessarie per riportare in buono stato le zone dei tipi di habitat di cui all'allegato I che non lo sono. Tali misure di ripristino sono attuate: a) entro il 2030 su almeno il 30 % della superficie totale di tutti i tipi di habitat di cui all'allegato I che non è in buono stato, come quantificata nel piano nazionale di ripristino di cui all'articolo 15; b) entro il 2040 su almeno il 60 % e entro il 2050 su almeno il 90 % della superficie di ciascun gruppo di tipi di habitat di cui all'allegato I che non è in buono stato, come quantificata nel piano nazionale di ripristino di cui all'articolo 15. (IT GU L del 29.7.2024, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj).

REFERENCES

European Commission (2024), *EU Mission 100 climate-neutral and smart cities by 2030*. Available at: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/

inherent to environmental technological design.
Bioclimatic regeneration of carbon-neutral districts and the enhancement of peripheral and peri-urban areas through productive, environmental, and ecosystemic agricultural functions (e.g., vertical farms, innovative agrivoltaic systems, urban cultivation methods, productive housing) also play a pivotal role. These approaches hold considerable potential, particularly by applying community and collaborative dimensions to self-sufficiency in food production, and by forming energy communities that yield interesting results even in public housing contexts.
At the building scale, innovative contributions include circular resource use, digital technologies applied to parametric design and fabrication systems, and examples such as green roofing, rainwater management, renewable materials (notably wood), and biogenic materials like natural fibres and textiles for new construction and retrofit projects.
Finally, this issue of TECHNE documents industrial research experiments, which highlight entrepreneurial commitments to decarbonisation and circularity, leveraging digital innovation (e.g., Innovation Agreements co-financed by the Ministry of Enterprises and Made in Italy in advanced manufacturing systems for circular industries, and artificial intelligence applied to production technologies).
In conclusion, decarbonisation is a necessary but insufficient step to address the complexity of the climate and environmental crisis, especially without a multidimensional approach that synergistically integrates a broader system of actions. These can include reducing emissions of other greenhouse gases and pollutants (UNEP, 2024a), protecting ecosystems and restoring biodiversity, site-specific interventions for climate change adaptation and mitigation, drastically reducing waste in material and non-renewable resource consumption – the latter has increased three-fold over the last 50 years (UNEP, 2024b) – and limiting new construction in favour of renaturalisation, environmental regeneration, and adaptive reuse.
We need to "do more with less", prioritising the necessary and sufficient. Far from a regressive vision of degrowth, this aligns with sustainable and feasible development, as clearly articulated in conversations with Edward Rubin.

NOTES

[1] Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on the restoration of nature and amending Regulation (EU) 2022/869; Chapter II Objectives and restoration obligations, Article 4 Restoration of terrestrial, coastal and freshwater ecosystems, point 1. Member States shall implement the necessary restoration measures to bring the areas of the habitat types listed in Annex I that are not in good condition back to good condition. These restoration measures shall be implemented: a) by 2030 on at least 30% of the total area of all habitat types listed in Annex I that are not in good condition, as quantified in the national restoration plan referred to in Article 15; b) by 2040 on at least 60% and by 2050 on at least 90% of the area of each group of habitat types listed in Annex I that are not in good condition, as quantified in the national restoration plan referred to in Article 15 (IT GU L del 29.7.2024, https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj).

horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en.

Ness, D. (2024), "Will decarbonising buildings be enough? Constrain and redistribute growth in floor area", *AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design*, Vol. 15, pp. 84-97. Available at: https://doi.org/10.19229/2464-9309/1562024.

Savino, M. and Fregolent, L. (Eds) (2023), "PNRR e la grande trasformazione del Paese. Introduzione al dibattito", Sezione monografica in: *Archivio di Studi Urbani e Regionali*, Vol. LIII, Fascicolo n. 135, FrancoAngeli. Available at: https://doi.org/10.3280/ASUR2022-135008.

United Nations Environment Programme – UNEP (2024a), *Emissions Gap Report 2024: No more hot air … please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments.* Available at: https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46404.

United Nations Environment Programme – UNEP (2024b), *Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. International Resource Panel.* Available at: https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901.

Viesti, G. (2023), "Riuscirà il PNRR a rilanciare l'Italia?", Il Mulino, *Speciale dedicato al Piano nazionale di ripresa e resilienza*. ISBN 9788855225236. Available at: www.rivistailmulino.it/a/riuscir-il-pnrr-a-rilanciare-l-italia.

STRATEGIE INTEGRATE PER LA NEUTRALITÀ CLIMATICA: RESILIENZA URBANA, CO-CREAZIONE E INNOVAZIONE

Alessandra Battisti[1], https://orcid.org/0000-0002-3288-9321 alessandra.battisti@uniroma1.it
Antonella Violano[2], https://orcid.org/0000-0002-5313-3988 antonella.violano@unicampania.it
[1] Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, La Sapienza Università di Roma, Italia
[2] Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli", Italia

Abstract. L'urgenza di contrastare i cambiamenti climatici richiede una revisione dei modelli di progettazione e rigenerazione urbana orientati alla neutralità climatica. Questo implica non solo la riduzione delle emissioni operative, ma anche la gestione del carbonio incorporato attraverso strategie integrate di adattamento e mitigazione. Approcci come la "resilienza trasformativa" e il "pensiero basato sulla natura" favoriscono una governance coesa, mentre il modello del *Positive Energy District* (PED) promuove quartieri autosufficienti dal punto di vista energetico. La co-creazione con le comunità locali e l'uso di strumenti digitali avanzati permettono di ottimizzare la transizione climatica, supportata anche da nuove normative europee che incentivano le tecnologie a zero emissioni. L'adozione di infrastrutture verdi e la pianificazione urbana sostenibile migliorano la qualità della vita, evidenziando il ruolo della progettazione resiliente come leva strategica per la decarbonizzazione e la sostenibilità urbana.

Parole chiave: Progetto urbano; *Carbon neutral*; Processi di co-creazione; Distretti Energetici Positivi.

Introduzione

L'urgenza di contrastare i cambiamenti climatici, dettata dagli obiettivi UE al 2050, richiede una revisione dei modelli di progettazione e rigenerazione urbana che guardino all'obiettivo della decarbonizzazione non solo in temini di riduzione del consumo energetico diretto e operativo e delle emissioni (carbonio basato sul consumo), ma anche di una rapida individuazione, misurazione e riduzione del carbonio incorporato (Ness and Xing, 2021), per adottare pratiche integrate di adattamento e mitigazione climatica costruite sull'evidenza (Yin, 2022). Approcci come la "resilienza trasformativa" e il "pensiero basato sulla natura" mirano a superare la frammentazione delle attuazioni, promuovendo una governance coesa e *focus-oriented*. In quest'ottica le città devono disegnare spazi pubblici e infrastrutture pensando a una gestione sostenibile delle risorse, creando ambienti resilienti e climaticamente neutrali. Di conseguenza, sorgono due quesiti: quali sono le misure di maggiore efficacia adottate nel settore delle costruzioni? Qual è il loro rapporto costi/efficacia? Il processo da mettere in atto implica non solo interventi strutturali, ma anche un'ampia trasformazione sociale e partecipativa secondo un approccio olistico alla rigenerazione urbana che sostiene l'integrazione di pratiche resilienti, come la co-creazione, la *deep energy retrofit* e il *bio-climatic design*.

Neutralità climatica: processi di co-creazione e uso strategico di procedure d'appalto

Nella progressione verso la neutralità climatica, in particolare nell'attivazione di *smart environment* legati agli edifici, ma anche agli spazi di prossimità, l'attenzione dei ricercatori del settore si concentra maggiormente sulle aree urbanizzate per capire come attivare al meglio le tecnologie abilitanti al fine di promuovere innovazione tecnologica, sociale e culturale finalizzate alla decarbonizzazione ed efficienza energetica. Il concetto di *NetZero Energy Building* (NZEB) si evolve in *NetZero Emission Building* (NZEmB) e viene esteso al modello *Positive Energy District* (PED) ovvero quartieri urbani autosufficienti dal punto di vista energetico e a emissioni zero di CO_2, in grado di produrre energia da fonti rinnovabili in quantità tale da immetterla in rete (Kozlowska *et al.,* 2024). Questi modelli di distretti energetici positivi replicati nel corso degli anni aumenteranno la qualità della vita nelle città europee e saranno in grado di influenzare i modelli comportamentali e di consumo della vita quotidiana

INTEGRATED STRATEGIES FOR CLIMATE NEUTRALITY: URBAN RESILIENCE, CO-CREATION, AND INNOVATION

Abstract. The urgency of combatting climate change requires revising urban regeneration and planning models oriented towards climate neutrality. This means not only reducing operational emissions, but also using integrated adaptation and mitigation strategies to manage embodied carbon. Approaches like "transformative resilience" and "nature-based thinking" foster cohesive governance, while the Positive Energy District (PED) model promotes energy self-sufficient neighbourhoods. Co-creation with local communities and the use of advanced digital tools allow the climate transition to be optimised, also with the support of new European regulations incentivising zero emission technologies. The adoption of green infrastructures and sustainable urban planning improve quality of life, underscoring the role of resilient design as a strategic lever for decarbonisation and urban sustainability.

Keywords: Urban design; Carbon neutral; Co-creation processes; Positive Energy Districts.

Introduction

Dictated by the EU's 2050 targets, the urgency of combatting climate change requires revising urban regeneration and planning models that look to the goal of decarbonisation in terms not only of reducing direct and operational energy consumption and emissions (consumption-based carbon), but also of quickly identifying, measuring, and reducing embodied carbon (Ness and Xing, 2021). The purpose is to adopt integrated and evidence-based climate adaptation and mitigation practices (Yin, 2022). Approaches like "transformative resilience" and "nature-based thinking" aim to overcome fragmented implementation by promoting cohesive and focus-oriented governance. In this perspective, cities must design public spaces and infrastructures while thinking about sustainable resource management and creating resilient, climate-neutral environments. Consequently, two questions arise: What are the most effective measures adopted in the construction sector? What is their cost-effectiveness? The process to be implemented entails both structural interventions as well as a broad social and participatory transformation following a holistic approach to urban regeneration that supports the integration of resilient practices like co-creation, deep energy retrofit, and bio-climatic design. It is becoming rather clear that the path towards climate neutrality will follow two distinct patterns in constant dialogue with one another, precisely co-creation processes and strategic use of contracting procedures on the one

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17668

dei cittadini, fattori che ricoprono un ruolo fondamentale in direzione del raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica (Tucci *et al.,* 2023). Importanti opportunità in quest'ottica derivano appunto dalla comprensione del ruolo degli abitanti e da come si possono co-creare con loro piani di innovazione sociale nel contesto locale con una mentalità glocale. Emergono con chiarezza direzioni di ricerca d'azione partecipativa basata sulla comunità coinvolta attraverso progetti che adottano strumenti e metodi di predizione, simulazione e monitoraggio, supportati con tecnologie digitali che vengono introdotte nella vita di tutti i giorni. Si assiste alla comparsa di protocolli di *gamestorming* partecipativo per il *brainstorming* dell'innovazione sociale, come quelli descritti tra i fattori scatenanti dell'innovazione nel manuale *Good Life Goals* (Futerra and WCBSD*,* 2019) e di soluzioni progettuali *end-to-end* che vanno dalla consulenza relativa alle pratiche di mitigazione fino alle soluzioni ingegneristiche e progettuali che si avvalgono della partecipazione della comunità insediata (EC, 2024).

Il bisogno che emerge con sempre più chiarezza, e che necessita di una risposta urgente, è quello di sperimentare un modo innovativo di fare educazione e coinvolgimento diffuso dei cittadini sul campo di azione per rafforzare consapevolezza e conoscenza non solo legate ai rischi del cambiamento climatico, ma per riscoprire e potenziare il ruolo dello *smart environment* e anche della *mixitè* funzionale e prossimità in ambito urbano come elementi di inclusione sociale e accesso a beni e servizi culturali ed economici per realizzare una vera partecipazione e coesione. Inoltre, queste strategie consentono la riduzione di consumi ingenti di risorse e limitano le emissioni climalteranti dovute ai trasporti di persone e merci che vengono ridefiniti ed evitati grazie alle nuove funzioni insediate e agli orari pianificati nei progetti di rigenerazione e rifunzionalizzazione.

Il PNRR ha dimostrato in questi anni come, a volte, le misure politiche e gli incentivi possono essere considerati quali perturbazioni della traiettoria dello sviluppo economico dei luoghi interessati, se non accettati e metabolizzati dalla comunità locale (Ministero Affari Europei**,** 2024). Per poter prevedere e intervenire in modo efficace, è necessario comprendere la forma architettonica e urbana e la struttura sociale dei contesti di intervento, il modo in cui questi possono essere influenzati dalle funzioni, infrastrutture e mobilità e i probabili effetti degli interventi politici. A tal fine, oggi più che mai, numerosi set di dati sono disponibili per informare i processi di rigenerazione urbana e pianificazione territoriale finalizzati alla riduzione di gas climalteranti nelle città, e in questa pratica emerge l'urgenza di una ricerca attenta a sviluppare strumenti analitici finalizzati ad un'estrazione "profonda" dei dati e alla costruzione e uso di modelli di simulazione predittivi.

La nuova normativa europea, inoltre, sta creando delle condizioni regolamentari favorevoli necessarie per attrarre e sostenere gli investimenti nelle tecnologie e nei progetti che contribuiranno in misura significativa alla decarbonizzazione. Le disposizioni concordate concorreranno in particolare alla costruzione, in tempi più rapidi, di un maggior numero di impianti di produzione di tecnologie a zero emissioni nette, agevolando l'accesso ai mercati dei prodotti che soddisfano i criteri europei di sostenibilità e resilienza e che contribuiscono alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento.

Si stanno al contempo creando le condizioni per un contesto normativo semplificato e favorevole alle tecnologie pulite, che

hand, and resilient design, carbon sequestration and urban green space on the other.

Climate neutrality: co-creation processes and strategic use of contracting procedures

In the progression towards climate neutrality, and particularly in the activation of smart environments connected to buildings but also to proximity spaces, sectoral researchers' attention has focused mostly on urbanised areas. This choice aims at understanding how best to activate enabling technologies for promoting technological, social, and cultural innovation favouring decarbonisation and energy efficiency. The concept of NetZero Energy Building (NZEB) evolves into NetZero Emission Building (NZEmB). It extends to the Positive Energy District (PED) model –urban neighbourhoods that are energy self-sufficient and with zero CO_2 emissions, capable of producing energy from renewable sources in a quantity sufficient to bring it onto the grid (Kozlowska *et al*., 2024). Replicated over the years, these models of positive energy districts will increase quality of life in European cities, and will be able to influence the behavioural and consumption patterns of the citizens' daily life – factors that play an essential role in achieving climate neutrality targets (Tucci *et al*., 2023). Important opportunities in this perspective derive from understanding the residents' role, and from the way in which social innovation plans can be co-created with residents in the local setting and with a glocal mentality. Research directions of community-based participatory action clearly emerge through projects adopting tools and methods of prediction, simulation, and monitoring, supported with digital technologies that are introduced into everyday life. We are witnessing the appearance of participatory "gamestorming" protocols for brainstorming social innovation – like those described among the innovation-triggering factors in the Good Life Goals manual (Futerra and WCBSD*,* 2019) – and of end-to-end design solutions ranging from consultancy on mitigation practices to engineering and design solutions, which rely on the settled community's participation (EC, 2024).

The need that emerges with increasing clarity, and that requires an urgent response, is to try an innovative way of educating citizens and of obtaining their widespread involvement in the field of action. The purpose is to reinforce awareness and knowledge connected to the risk of climate change, besides discovering and strengthening the role of the smart environment and of functional *mixitè* and proximity in the urban setting. These are elements of social inclusion and access to cultural and economic goods and services for achieving real participation and cohesion. Moreover, these strategies make it possible to reduce resource consumption and limit greenhouse emissions from passenger and freight transport, which is redefined and avoided by the new established functions, and to schedule regeneration projects studied to revive functions.

In recent years, the national recovery plan (PNRR) has demonstrated that, at times, political measures and incentives may be considered disturbances to the trajectory of the affected areas' economic development, if they are not accepted and metabolised by the local community (Ministry for Euro-

ridurrà gli oneri amministrativi e semplificherà il rilascio delle autorizzazioni per le tecnologie a zero emissioni, introducendo il concetto di distretti di accelerazione per questo tipo di tecnologie, che possono essere istituiti dagli Stati membri per agevolare la creazione di *cluster* di attività industriali a zero emissioni e razionalizzare ulteriormente le procedure amministrative. Sono anche in atto nell'UE delle linee finalizzate a favorire condizioni in grado di accelerare la cattura e lo stoccaggio di CO_2 e agevolare l'accesso al mercato dei prodotti a zero emissioni, azioni tutte queste in linea con gli obiettivi della comunicazione sulla gestione industriale del carbonio, che rimuovono un ostacolo importante allo sviluppo della cattura e dello stoccaggio di CO_2 quale soluzione climatica economicamente praticabile, in particolare per le emissioni difficili da abbattere delle industrie ad alta intensità energetica (Net Zero Industry Act, 2023).
Infine, nei prossimi anni le autorità pubbliche dovranno tener conto dei criteri di sostenibilità e resilienza per determinate tecnologie senza emissioni di anidride carbonica e di gas serra nell'ambito delle procedure di appalto e delle aste per la diffusione delle energie rinnovabili. Nelle procedure di appalto pubblico deve essere previsto almeno un criterio aggiuntivo che potrà essere la sostenibilità sociale, la cibersicurezza e l'obbligo di realizzazione nei tempi previsti.

Neutralità Climatica: progettazione resiliente, *carbon sequestration* e verde urbano

Un quadro concettuale avanzato per la valutazione della sostenibilità resiliente deve necessariamente utilizzare una prospettiva "*transdisciplinary system-of-systems*" (TSoS) (Bataleblu *et al.,* 2024), che si rivela particolarmente utile per affrontare le problematiche legate al cambiamento climatico (IPCC Report, 2024), mettendo in luce i limiti della frammentazione disciplinare e delle metriche di sostenibilità generiche di prima generazione, basate su indicatori statici o estrapolazioni lineari, che risultano spesso inadeguate a causa di applicazioni poco specifiche e concrete, che non riescono a trarre beneficio diretto dalle esperienze (positive o negative) già condotte.
Nel contesto della progettazione ambientale a scala urbana, il pensiero sistemico e la transdisciplinarietà sembrano fornire strumenti estremamente utili per comprendere e gestire le intricate interconnessioni tra ambiente, società ed economia. Tuttavia, l'applicazione pratica di questi concetti a livello urbano porta alla luce una serie di contraddizioni fondamentali che ne ostacolano l'efficacia. Una di esse risiede nella complessità e nella frammentazione della conoscenza e l'approccio TSoS incoraggia una decomposizione sistematica dei problemi di sostenibilità, considerando le esigenze di vari *stakeholder*, del mercato e delle condizioni climatiche. Un'ulteriore difficoltà risiede nelle limitazioni delle metriche imposte a livello normativo, che risultano carenti di obiettivi chiari e misurabili. Questo problema si amplifica a livello urbano, dove l'applicazione di standard universali risulta limitativa e può portare a decisioni superficiali o inadeguate rispetto alle specificità dei contesti, dove una pluralità di interessi e di priorità rende difficile integrare in modo coerente tutte le esigenze, senza sacrificare la specificità dei singoli ambiti di intervento. Le città, infatti, presentano caratteristiche uniche e complesse, che mal si prestano a una gestione unificata e che rischiano di essere maltrattate da un approccio standardizzato. Tuttavia, l'approccio basato sulla

pean Affairs**,** 2024). To be able to effectively foresee events and intervene, the architectural and urban form and the social structure of the intervention settings must be understood, so they can be influenced by the functions, infrastructures and mobility, and by the likely effects of political interventions. To this end, now more than ever, numerous data sets are available to inform the urban regeneration and territorial planning processes aimed at reducing greenhouse gases in cities. This practice raises the urgency of research attentive to developing analytical tools aimed at "deep" data extraction and at building and using predictive simulation models.
Moreover, the new European rules are creating favourable regulatory conditions needed to attract and support investment in technologies and designs that will make a significant contribution to decarbonisation. The provisions agreed-upon will particularly contribute towards quickly building a larger number of production plants of net-zero emissions technologies, thus facilitating access to the markets for products that meet European sustainability and resilience criteria, and go towards diversifying the sources of procurement.
At the same time, the conditions for a simplified regulatory context favourable to clean technologies are being created. This will reduce red tape and simplify the authorisation process for zero emission technologies, introducing the concept of acceleration districts for such technologies. These districts may be instituted by Member States to facilitate the creation of zero emission industry clusters, and to further streamline administrative procedures. Lines aimed at fostering conditions capable of speeding up carbon capture and storage, and facilitating access to the market for zero emission products are also underway in the EU. All these actions are in line with the goals of communication on industrial carbon management, thus removing a major obstacle to the development of carbon capture and storage as an economically viable climate solution that is specific for the hard-to-eliminate emissions produced by energy intensive industries (Net Zero Industry Act, 2023).
Lastly, in coming years the public authorities will have to take account of sustainability and resilience criteria for certain zero greenhouse gas and CO_2 emission technologies in contracting procedures and tenders to spread renewable energies. Public contracting procedures will have to include at least one additional criterion, which can be social sustainability, cybersecurity, and mandatory achievement by the established deadlines.

Climate neutrality: resilient design, carbon sequestration and urban green space

An advanced conceptual picture for assessing resilient sustainability must necessarily use a transdisciplinary system-of-systems (TSoS) perspective (Bataleblu *et al.*, 2024). Particularly useful for dealing with climate change-related problems (IPCC Report, 2024), this perspective casts light on the limitations of disciplinary fragmentation and of generic, first-generation sustainability metrics based on either static indicators or on linear extrapolations. The latter are often inadequate because of unspecific, non-concrete applications, which are unable to draw direct benefit from prior (positive or negative) experiences.

valutazione "caso per caso", che si discosta da soluzioni standardizzate e protocolli predefiniti, presenta un limite intrinseco alla sua prevedibilità e misurabilità *ex ante*. L'urgenza imposta dall'attuale contingenza climatica e ambientale riduce sensibilmente il margine temporale disponibile per sperimentare e perfezionare strategie progettuali efficaci, il che determina un inevitabile *trade-off* tra la necessità di interventi tempestivi e il rischio di una limitata contestualizzazione, compromettendo la capacità di preservare l'identità specifica dei luoghi e dei sistemi in cui tali strategie vengono implementate.

Le strategie integrate per il conseguimento della neutralità climatica si configurano come una risposta potenzialmente risolutiva alle sfide poste dalla riduzione delle emissioni di gas serra (Huo *et al.,* 2022). Infatti, il concetto di neutralità climatica non si limita alla semplice riduzione delle emissioni, ma include la capacità di compensarle attraverso approcci come quello della "neghentropia" (Leff, 2021) in armonia con la natura autopoietica dei sistemi ambientali, o della "sufficienza" (Ness, 2023) per ridurre la domanda di risorse fornendo benessere a tutti entro i limiti del pianeta. Tali sistemi non possono più essere concepiti come meri depositi di risorse da sfruttare, bensì come matrici rigenerative, in grado di auto-sostenersi nella loro intrinseca circolarità. La sfida, dunque, risiede non solo nella mitigazione degli impatti antropici, ma nella promozione di un equilibrio dinamico che consenta all'ambiente di autoregolarsi e di mantenere la propria capacità di rinnovamento, anche in condizioni di stress.

In tale prospettiva, si riconosce il valore della flessibilità e adattabilità delle tecnologie, affinché la loro efficacia non sia vincolata a parametri rigidi, ma possa evolvere in funzione delle mutazioni ambientali e sociali. Poiché la repentinità dei cambiamenti accresce il fattore sorpresa, diventa imprescindibile alimentare un'intelligenza resiliente, capace di combinare dati ed esperienze con una coscienza adattiva e fluida, in grado di anticipare il futuro. Tale paradigma si fonda su tre principi cardine: ottimizzazione, contingenza e innovazione (Miller *et al.,* 2013), imprescindibili per una transizione climatica realmente efficace e per un sistema di governance ambientale capace di operare in modo proattivo, ovvero non solo rispondendo alle emergenze, ma prevenendole e trasformandole in opportunità di rigenerazione e crescita sostenibile.

Soluzioni come la *carbon storage and sequestration* (Habib *et al.,* 2023), la promozione di infrastrutture verdi e blu (UN Decade on Ecosystem Restoration 2021-2030 – UNEP, 2021), intese come dispositivi ecologici capaci di mitigare gli impatti climatici e favorire la biodiversità (Nature Positive Goal, COP25 del 2022), e il miglioramento della resilienza urbana, attraverso strategie di adattamento dinamico e governance partecipativa basate su scenari che riflettano le tendenze sociali future (Pedde et al, 2024), rappresentano gli strumenti per consolidare la capacità auto-rigenerativa dei sistemi ambientali e ridurre la vulnerabilità socio-ecologica, contribuendo alla costruzione di città più adattabili, circolari e climaticamente neutre.

Secondo studi recenti (Christidis *et al.,* 2024; Tucci *et al.,* 2023; Huovila *et al.,* 2022; Riley and Gardiner, 2020), le infrastrutture verdi nei piani di sviluppo delle città, forti consumatrici di capitale naturale, possono contribuire in modo significativo alla neutralità climatica, soprattutto quando combinate con strategie di efficienza energetica e mobilità sostenibile. La progettazione tecnologica resiliente, che si basa su principi di flessibilità, efficienza e inclusività, mira a creare sistemi urbani capaci di

In environmental design on an urban scale, systemic thinking and transdisciplinarity appear to provide extremely useful tools for understanding and managing the intricate interconnections between environment, society, and economics. However, practical application of these concepts on an urban level raises a set of fundamental contradictions that hamper their effectiveness. One of these lies in complex, fragmented knowledge. The TSoS approach encourages a systematic breakdown of sustainability problems, taking into account the needs of the various stakeholders, the market, and climate conditions. Another difficulty lies in the limitations of the metrics imposed at the regulatory level, which lack clear, measurable objectives. This problem is amplified on the urban level, where the application of universal standards is limitative, and can lead to decisions that are superficial or inadequate for the settings' characteristics. In such a context, a multitude of interests and priorities makes it hard to coherently integrate all the needs without sacrificing the specific features of the individual intervention contexts. Cities have, in fact, unique and complex features that do not lend themselves to unified management, and risk being ill-treated by a standardised approach. However, an approach based on a case-by-case assessment that distances itself from standardised solutions and predefined protocols has an intrinsic limit to its ex-ante predictability and measurability. The urgency imposed by the current climate and environmental juncture considerably reduces the time available for trialling and perfecting effective design strategies. This creates an inevitable trade-off between the need for prompt interventions and the risk of a limited contextualisation, thus compromising the ability to preserve the specific identity of the places and systems where these strategies are implemented.

Integrated strategies for achieving climate neutrality are a potential solution for responding to the challenges raised by the reduction of greenhouse gas emissions (Huo *et al.*, 2022). Indeed, the concept of climate neutrality is not limited merely to reducing emissions, but includes the ability to offset them through approaches like "negentropy" (Leff, 2021), consistently with the autopoietic nature of environmental systems, or "sufficiency" (Ness, 2023), to reduce the demand for resources while providing well-being to all within the planet's limits. These systems can no longer be conceived as mere deposits of resources to be exploited, but as regenerative matrices capable of sustaining themselves in their intrinsic circularity. The challenge lies not only in mitigating manmade impacts, but in promoting a dynamic balance that allows the environment to regulate itself and maintain its capacity for renewal even under stress conditions.

In this perspective, value is placed on technologies being flexible and adaptable so that their effectiveness might not be restricted to rigid parameters, but might evolve as a function of environmental and social changes. Since the suddenness of the changes increases the surprise factor, it is essential to nurture a resilient intelligence that can combine data and experiences with an adaptive, fluid consciousness, and anticipate the future. This paradigm is founded upon three key principles, namely optimisation, contingency, and innovation (Miller *et al.*, 2013), all of which are essential for a truly effective

adattarsi e rispondere alle pressioni antropiche, integrando misure che riducono il rischio climatico e aumentano la capacità di ripresa delle comunità. Un esempio concreto è rappresentato dall'uso di modelli predittivi e strumenti digitali, che consentono di simulare scenari di rischio e pianificare interventi mirati (EEA, 2024). Le infrastrutture verdi integrate, attuate con approccio resiliente, sono in grado di fornire servizi ecosistemici di supporto, approvvigionamento e regolazione per le città, se non si limitano alla piantumazione di alberi nei contesti urbanizzati, ma estendono all'inclusione attiva delle comunità locali, il coinvolgendo dei cittadini nella progettazione e gestione delle risorse naturali (Martino and Zani, 2024). Attraverso forestazione urbana, *urban farming* e valorizzazione della vegetazione anche nei centri storici, le città non solo migliorano il loro microclima e riducono le emissioni, ma creano spazi di interazione sociale e partecipazione diretta. Inoltre, i progetti di design bioclimatico e le soluzioni di retrofit profondo si affiancano al verde urbano per ottimizzare l'uso dell'energia e migliorare il comfort degli spazi.

La necessità di soluzioni resilienti, ma anche localmente specifiche e adattabili, diventa quindi un requisito essenziale per evitare che un approccio potenzialmente olistico si riduca a una somma di interventi parziali e disomogenei.

Visioni sistemiche per il futuro

L'efficacia e il successo di tutte le strategie è subordinata all'adozione di una visione sistemica, multidisciplinare e multiscopo, capace di coniugare approcci e finalità eterogenee. Tale paradigma richiede l'intersezione tra le diverse forme di innovazione tecnologica (collaborativa, aperta, co-innovativa, convergente – Losasso *et al.,* 2024), una pianificazione multiscalare consapevole, e una programmazione adattiva, in grado di calibrare le strategie rispetto alle specificità contestuali e alle evoluzioni ambientali. La competitività sostiene l'innovazione tecnologica, alimentando lo sviluppo del valore del processo, fissando non obiettivi da raggiungere ma risultati da ottenere e valutare. Non meno rilevante è il concetto di "cittadinarietà", inteso non solo come inclusione e partecipazione attiva delle comunità nei processi decisionali, ma anche come opportunità di crescita culturale e cognitiva. La co-creazione di soluzioni resilienti e sostenibili passa attraverso il coinvolgimento diretto dei cittadini, i quali non devono essere meri destinatari di politiche ambientali, bensì attori consapevoli di una transizione ecologica condivisa, in cui l'approccio ambientalmente consapevole sia attuato con una finalità che sia di "cura" dell'ambiente costruito. In questo scenario, il sapere diffuso e la costruzione di una coscienza collettiva ambientale rappresentano strumenti imprescindibili per l'effettiva implementazione di strategie efficaci e durature. Si dà, quindi, valore al rispetto dell'ambiente naturale, non per limitare i danni che l'uomo può infliggerle, ma per ridurre i danni che l'uomo potrebbe arrecare a sé stesso e al suo ambiente di vita nel momento in cui ne distrugge le qualità intrinseche ed estrinseche. Si sancisce, così, la trasmutazione culturale della società del consumo (*consumption-based footprint reduction targets*) in società della cura (*care-based footprint reduction targets*). Tutte queste operazioni saranno possibili anche attraverso delle misure di sostentamento dello sviluppo delle competenze e dell'innovazione in materia di decarbonizzazione, attraverso delle accademie per l'industria a zero emissioni nette, al fine di sostenere il miglioramento delle competen-

climate transition and for an environmental governance system capable of working proactively. This means not just responding to emergencies, but preventing them and transforming them into opportunities for regeneration and sustainable growth.

Solutions like carbon storage and sequestration (Habib *et al*., 2023), the promotion of green and blue infrastructures (UN Decade on Ecosystem Restoration 2021-2030 – UNEP, 2021) understood as ecological devices able to mitigate climate impacts and promote biodiversity (Nature Positive Goal, COP25, 2022), and the improvement of urban resilience with dynamic adaptation and participatory governance strategies based on scenarios reflecting future social trends (Pedde *et al*., 2024) are the tools for consolidating the self-regenerative capacity of environmental systems. They can reduce socio-ecological vulnerability, while contributing towards building more adaptable, circular, and climate-neutral cities.

According to recent studies (Christidis *et al*., 2024; Tucci *et al*., 2023; Huovila *et al*., 2022; Riley and Gardiner, 2020), green infrastructures in the development plans of cities – which are major consumers of natural capital – can make a significant contribution towards climate neutrality, especially when combined with energy efficiency and sustainable mobility strategies. Based on principles of flexibility, efficiency, and inclusiveness, resilient technological design aims to create urban systems able to adapt and respond to manmade pressures, supplementing measures that reduce climate risk and increase communities' ability to recover. One concrete example is the use of predictive models and digital tools that allow risk scenarios to be simulated and targeted interventions to be planned (EEA, 2024). Implemented with a resilient approach, integrated green infrastructures can provide cities with ecosystem services for support, procurement, and regulation, if they are not limited to planting trees in urban settings but extend to actively include local communities by getting citizens involved in the planning and management of natural resources (Martino and Zani, 2024). Through urban forestation, urban farming, and underscoring the importance of vegetation in historic centres as well, cities improve their microclimate and reduce emissions, while also creating spaces for social interaction and direct participation. Moreover, bioclimate design projects and deep retrofit solutions work alongside urban green space to optimise energy use and improve spatial comfort.

The need for resilient but also locally specific and adaptable solutions thus becomes an essential requirement to keep a potentially holistic approach from being reduced to a sum of partial, uneven interventions.

Systemic visions for the future

The effectiveness and success of all the described strategies depends upon the adoption of a systemic, multidisciplinary, and multi-purpose vision that brings together heterogeneous approaches and aims. This paradigm requires intersection among the various forms of technological innovation (collaborative, open, co-innovative, convergent – Losasso *et al*., 2024), conscious multi-scale planning, and adaptive programming that calibrates strategies to the settings' specific features and to environmental development. Competitiveness supports

ze dei lavoratori necessarie per il potenziamento di questa tipologia di industrie nell'UE e per agevolare la mobilità di questi lavoratori all'interno del mercato unico europeo.

ATTRIBUZIONI

I contenuti del paper sono stati concepiti da entrambe le autrici, e in particolare A.B. ha scritto il paragrafo Neutralità Climatica: processi di co-creazione e uso strategico di procedure d'appalto, mentre A.V. ha scritto i paragrafi: Introduzione, Neutralità Climatica: progettazione resiliente, *carbon sequestration* e verde urbano e Visioni sistemiche per il futuro.

REFERENCES

Bataleblu, A.A., Rauch, E. and Cochran, D.S. (2024), "Resilient Sustainability Assessment Framework from a Transdisciplinary System-of-Systems Perspective", *Sustainability*, Vol. 16, p. 9400. Available at: https://doi.org/10.3390/su16219400.

COM(2023)161 *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology products manufacturing ecosystem (Net Zero Industry Act).*

Christidis P., Ulpiani G., Stepniak M. and Vetters N. (2024), "Research and innovation paving the way for climate neutrality in urban transport: Analysis of 362 cities on their journey to zero emissions", *Transport Policy*, Vol. 148/2024, pp. 107-123. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.01.008.

European Commission (2024), *Decision 2371 of 17 April 2024, Horizon Europe Work Programme 2023-2025 12. Missions and Cross-cutting Activities.*

European Environment Agency (2024), *European Climate Risk Assessment. EEA Report 01/2024*. Available at: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment (Accessed on 09/01/2025).

Futerra and World Business Council for Sustainable Development – WCBSD (2019), The good life goals. For world-changing businesses. A guide to making the Sustainable Development Goals relevant to your employees and customers. Available at: https://docs.wbcsd.org/2019/09/WBCSD_Good_Life_Goals-Business_Guide%202019.pdf (Accessed on 09/01/2025).

Habib, S., Tahir, F., Hussain, F., Macauley, N. and Al-Ghamdi, S.G. (2023), "Current and emerging technologies for carbon accounting in urban landscapes: Advantages and limitations", *Ecological Indicators*, Vol. 154, p. 110603. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110603.

Huo, D., Huang, X., Dou, X. *et al.* (2022), "Carbon Monitor Cities near-real-time daily estimates of CO_2 emissions from 1500 cities worldwide", *Sci Data*, Vol. 9, p. 533. Available at: https://doi.org/10.1038/s41597-022-01657-z.

Kozlowska, A., Guarino, F., Volpe, R., Bisello, A., Gabaldòn, A., Rezaei, A., Albert-Seifried, V., Alpagut, B., Vandevyvere, H., Reda, F. *et al.* (2024), "Positive Energy Districts: Fundamentals, Assessment Methodologies, Modeling and Research Gaps", *Energies*, Vol. 17, p. 4425. Available at: https://doi.org/10.3390/en17174425.

IPCC (2023), *AR6 synthesis report, Climate change 2023: Summary for policy-makers (March). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).*

Huovila, A., Siikavirta, H., Rozado, C.A., Rökman, J., Tuominen, P., Paiho, S., Hedman, Å. and Ylén, P. (2022), "Carbon-neutral cities: Critical review of theory and practice", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 341, p. 130912. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130912.

Leff, E. (2021), "Bioeconomics, Negentropic Productivity and Eco-social Sustainability", in *Political Ecology*, Palgrave Macmillan, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63325-7_9.

Losasso, M., Attaianese, E. and Rigillo M. (Eds) (2024), *Innovazioni convergenti per lo spazio abitabile*, Clean Editore, Napoli.

Martino, V. and Zani, G.V. (2024), "Da bene pubblico a bene comune: le aree verdi come oggetto di un impegno congiunto", *Rivista di estetica*, Vol. 85, pp. 103-117. Available at: https://doi.org/10.4000/12tqd.

technological innovation, fuelling development of the process' value and establishing results to be obtained and assessed, not goals to be achieved. No less important is the concept of "*cittadinarietà*" (solidarity citizenship) understood not only as the communities' inclusion and active participation in decision-making processes, but also as an opportunity for cultural and cognitive growth. The co-creation of resilient and sustainable solutions passes through the direct involvement of citizens, who must not be mere recipients of environmental policies, but conscious players in a shared ecological transition in which the environmentally aware approach is implemented with a purpose that "cares" for the built environment. In this scenario, widespread knowledge and the building of collective environmental consciousness are essential tools for the actual implementation of effective, lasting strategies. Value is, then, given to respect for the natural environment, not with a view to limit the damage humans may inflict upon it, but to reduce the damage humans might cause to themselves and their living environment when they destroy its intrinsic and extrinsic qualities. The cultural transmutation of the consumption society (consumption-based footprint reduction targets) into "care" societies (care-based footprint reduction targets) is thus enshrined. All these operations will also be possible through the use of measures in support of developing skills and innovation in the matter of decarbonisation, and through academies for net zero industry. This will help improve workers' skills needed to strengthen such industries in the EU, and to facilitate these workers' mobility within the single European market.

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper was conceptualised by both authors, and in particular A.B. wrote the paragraph Climate neutrality: co-creation processes and strategic use of contracting procedures, while A.V. wrote the paragraphs: Introduction, Climate neutrality: resilient design, carbon sequestration and urban green space, and Systemic visions for the future.

Ministero per gli Affari Europei, il PNRR e le Politiche di Coesione (2024), *Quarta relazione sullo stato di attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*

Ness, D.A. and Xing, K. (2021), "Consumption-based and embodied carbon in the built environment: implications for APEC's low-carbon model town project", *Journal of Green Building*, Vol 15, n. 3, pp. 67-82. Available at: https://doi.org/10.3992/jgb.15.3.67.

Ness, D.A. (2023), "Technological efficiency limitations to climate mitigation: why sufficiency is necessary", *Buildings and Cities*, Vol. 4, n. 1, pp. 139-157. Availabe at: https://doi.org/10.5334/bc.297.

Pedde, S., Fronzek, S., Pirttioja, N., van Minnen, J., Carere, M., Marcheggiani, S., Berckmans, J. and Photiadou, C. (2024), "Guidelines to quantify climate change exposure and vulnerability indicators for the future: an example for heat stress risk across scales", *European Topic Centre on Climate change adaptation and LULUCF (ETC-CA) Report*, Vol. 1, p. 36. Available at: https://doi.org/10.25424/cmcc-n52a-ad48.

Riley, C.B. and Gardiner, M.M. (2020), "Examining the distributional equity of urban tree canopy cover and ecosystem services across United States cities", *PLoS ONE*, Vol. 15, n. 2, p. e0228499. Available at: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228499.

Tucci, F., Cecafosso, V., Altamura, P. and Turchetti, G. (2023), *Verso la neutralità climatica di architettura e città Green. Approcci, indirizzi, strategie, azioni*, FrancoAngeli, Milano.

United Nations Environment Programme – UNEP (2021), *Becoming #GenerationRestoration: Ecosystem restoration for people, nature and climate. Nairobi.* Available at: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36251/ERPNC.pdf (Accessed on 09/01/2025).

Yin, L., Sharifi, A., Liqiao, H. and Jinyu, C. (2022), "Urban carbon accounting: An overview", *Urban Climate*, Vol. 44, p. 101195. Available at: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101195.

VERSO UN AMBIENTE COSTRUITO *CLIMATE NEUTRAL*: SFIDE E STRATEGIE DELLA PROGETTAZIONE AMBIENTALE

Fabrizio Tucci, https://orcid.org/0000-0001-8901-0720 fabrizio.tucci@uniroma1.it
Dipartimento Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

Sfide della progettazione ambientale in contesto di cambiamenti climatici

La nostra epoca è caratterizzata da questioni che spingono gli intellettuali a definirla l''èra delle crisi e dell'incertezza', questioni che vedono la Progettazione Ambientalmente consapevole protagonista della sperimentazione di modi innovativi di progettare in contesti di grande e accelerato mutamento e in condizioni di sempre più forte problematicità sul piano climatico, ambientale e sociale, nel tentativo e desiderio di dare alcune risposte alle principali sfide del futuro; il che significa, dal punto di vista di chi progetta e di chi sviluppa ricerca e sperimentazione per la progettazione: progettare in un'epoca di 'crisi' (culturale, sociale ed economica); progettare in condizioni di 'emergenza' (ambientale/climatica, umanitaria, abitativa); progettare in uno stato di 'scarsità di risorse' (materiali e immateriali); progettare in condizioni di 'incertezza' (totalmente trasversali a tutte le precedenti).

Possiamo compiere uno sforzo di sintesi nell'individuare tre macro-problematiche alle quali sono ascrivibili una parte significativa dei fattori che concorrono all'èra delle crisi e dell'incertezza sopra ricordata, e che rappresentano i tre grandi, epocali "macigni" della "insostenibilità ambientale", tra di loro fortemente interrelati, che premono sulle spalle dell'umanità:

1. cambiamenti climatici e minacce correlate;
2. scarsezza e non rinnovabilità delle risorse;
3. progressiva diminuzione della qualità ambientale e della biodiversità.

A queste sono collegate altre tre macro-criticità che registrano attacchi di portata planetaria ai nostri tre 'capitali'-chiave: il capitale naturale, il capitale sociale e il capitale culturale, e che possiamo definire le macro-criticità della "insostenibilità sociale e culturale":

1. indebolimento del capitale sociale e del *capacity building*, con intensificazione delle emergenze di tipo sociale e abitativo (compresa quella dei flussi migratori), progressivo impoverimento dei cittadini, diminuzione della sicurezza e dei servizi di base alla popolazione, decremento del benessere abitativo generale;
2. erosione del capitale culturale e dell'identità dei luoghi, delle città e dei territori;
3. depauperamento del capitale naturale, degli ecosistemi urbani e consumo dei suoli, che si ricollega direttamente alle tre macro-problematiche ambientali.

Ci sono alcuni aspetti, tra i tanti sottesi dalle macro-problematiche e dalle macro-criticità, che vale la pena di sottolineare. Negli ultimi 70 anni siamo stati immersi in quella che possiamo definire "la grande accelerazione", che ha caratterizzato quella nuova epoca che, dal dopoguerra ai giorni nostri, si è dimostrata molto differente da tutte quelle che hanno preceduto la storia dell'umanità riguardo alla impressionante velocità con cui sono avvenute tre categorie di cambiamenti che riguardano rispettivamente la popolazione mondiale, i consumi mondiali di energia e i consumi mondiali di materiali (EEA 2016; 2017; 2019; 2021; 2024):

– la popolazione mondiale, che ha impiegato migliaia di anni per arrivare nel 1950 a 2,5 miliardi, negli ultimi 70 anni è più che triplicata, crescendo di 5,5 miliardi, arrivando a 8 miliardi nel 2024;
– i consumi mondiali di energia, che sono stati in bassa crescita per secoli fino al 1950 quando erano ancora di circa

TOWARDS A CLIMATE NEUTRAL BUILT ENVIRONMENT: CHALLENGES AND STRATEGIES OF ENVIRONMENTAL DESIGN

Challenges of environmental design in the context of climate change

Our era is defined by issues that compel us to refer to it as the 'age of crises and uncertainty'. These issues place Environmental Design at the forefront of experimenting with innovative ways of designing in contexts of rapid and profound change, and in conditions of increasing environmental and social challenges, in an attempt to provide some answers to the major challenges of the future. From the perspective of those who design and develop research and experimentation for design, this entails: designing in an era of 'crisis' (cultural, social, and economic); designing under 'emergency' conditions (environmental/climatic, humanitarian, housing); designing amid "resource scarcity" (both material and immaterial); and designing in conditions of 'uncertainty' (which permeates all of the above).

We can summarise these into three macro-issues, encompassing the key issues outlined above and representing the three large, epochal "burdens" of "environmental unsustainability", which are strongly interrelated with each other, and are pressing upon humanity's shoulders:

1. Climate change and associated threats
2. Scarcity and non-renewability of resources
3. Progressive decline in environmental quality and biodiversity.

These are connected to three additional macro-issues that represent global-scale threats to our three key 'capitals': *natural* capital, *social* capital, and *cultural* capital. We may define these as the macro-issues of "social unsustainability" and "cultural unsustainability":

1. Weakening of *social capital* and *capacity building*, with intensification of social and housing emergencies (including those related to migration flows), a progressive impoverishment of citizens, reduction in safety and basic services, and an overall decrease in residential well-being;

2. Erosion of *cultural capital* and the identity of places, cities, and territories;

3. Depletion of *natural capital*, urban ecosystems, and land consumption, directly linked to the three environmental macro-issues.

Several aspects among the many underlying these problems, macro-issues, and macro-criticalities are worth emphasising. Over the past 70 years, we have been immersed in what can be termed "the Great Acceleration", a period from the post-war era to the present, distinguished by a pace of change unlike any other in human history. This era has brought remarkable

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17669

2,4 miliardi di tep, in soli 70 anni sono cresciuti di 5 volte, arrivando nel 2021 a 14 miliardi di tep;
– i consumi mondiali di materiali (minerali, metalli, combustibili fossili e biomassa), che nel 1950 erano stimabili in circa 12 miliardi di tonnellate, in soli 70 anni sono cresciuti di 7,5 volte per arrivare nel 2024 a circa 102 miliardi di tonnellate.

Si possono dire tante cose a commento degli aspetti che noi definiamo "la grande accelerazione", ma certamente non possiamo sottrarci dal tenere presenti i continui avvertimenti e indicazioni dei rapporti prodotti dai più importanti e competenti organismi mondiali sul tema, tra i quali quelli dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) o quelli del IPBES (*Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) delle Nazioni Unite. Il primo, tra i tanti, non si stanca mai di avvertire che «Continuando con il trend attuale, le temperature medie globali aumenteranno di 1,5°C entro la prima metà degli anni 2030 con un serio aggravamento delle ondate di calore, delle inondazioni e delle siccità catastrofiche, con gravi crisi della produzione alimentare, aumento della povertà, delle emigrazioni e con ingenti danni economici» (IPCC, 2022)*;* il secondo, nel suo Rapporto "*Global Assessment*" sullo stato del patrimonio naturale mondiale 1970-2020, avverte: «Il tasso di perdita della biodiversità mondiale ha raggiunto negli ultimi cinquant'anni livelli senza precedenti, che comportano impatti e rischi molto rilevanti per le condizioni di vita e per le possibilità non solo di sviluppo ma anche di sopravvivenza stessa dell'umanità» (IPBES, 2023).

In Italia gli impatti della crisi climatica in Italia si stanno aggravando: abbiamo raggiunto una temperatura media di 14 °C, la più alta di sempre, e il 2023 è stato l'anno della più grave siccità degli ultimi 500 anni in Europa, con un calo delle precipitazioni medie in Italia di oltre il 20% rispetto alla media del 1990-2020, raggiungendo, viceversa, il nuovo record di oltre 3 mila eventi climatici estremi: il numero più alto di sempre.

A premessa di qualsiasi considerazione strategico-operativa a supporto delle possibili risposte a tali sfide, occorre tener presente che il *target* a cui la Progettazione Ambientale si rivolge nella Società di oggi e del futuro è al contempo quello dei decisori politici e delle istituzioni pubbliche (ai vari livelli, dal centrale-governativo dello Stato, al locale-amministrativo), quello dei responsabili ed elaboratori delle attività di pianificazione e progettazione (da intendersi in senso a-scalare e interdisciplinare, nei vari settori: uffici tecnici pubblici, studi di architettura e di ingegneria, pianificatori, urbanisti, architetti, progettisti, società di progettazione), quello del mondo delle imprese e dei produttori (industrie di medie e grandi dimensioni, aziende artigiane, soggetti coinvolti sia nelle filiere della produzione di materiali e componenti per l'edilizia e l'urbanistica, sia in quelle della realizzazione delle costruzioni edili e infrastrutturali-urbane) (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2014; WEF, 2017a), e quello della dimensione umana costituita dai cittadini, dagli utenti, dagli abitanti, dai fruitori, col fine ultimo di arrivare ad avere ricadute e benefici sulla società nel suo complesso (CRESME, 2017).

Per questo occorre sottolineare l'importanza della coniugazione di cultura imprenditoriale e cultura progettuale, e affermare subito con forza che l'approccio proprio della Progettazione 'Ambientalmente e climaticamente consapevole' negli interventi sul territorio italiano rappresenta l'unica opportunità davve-

speed in three categories of change concerning global population, global energy consumption, and global material consumption (EEA 2016; 2017; 2019; 2021; 2024):
– global population: After taking millennia to reach 2.5 billion in 1950, the global population has more than tripled in just the last 70 years, increasing by 5.5 billion to reach 8 billion in 2024.
– global energy consumption: After centuries of modest growth, global energy consumption, which was still around 2.4 billion tonnes of oil equivalent (toe) in 1950, has increased five-fold in just 70 years, reaching 14 billion toe by 2021.
– global material consumption: In 1950, global material consumption (minerals, metals, fossil fuels, and biomass) was estimated at around 12 billion tonnes. In just 70 years, this has surged by 7.5 times, reaching approximately 102 billion tonnes in 2024.

There is much to be said on these aspects, which we define as the Great Acceleration, but we cannot ignore the continuous warnings and guidance from reports produced by the world's most authoritative organisations on this subject, such as the IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) and the IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) of the United Nations. The IPCC, for instance, repeatedly warns that «At the current trend, global average temperatures will increase by 1.5°C by the early 2030s, with severe worsening of heatwaves, catastrophic floods, and droughts, serious food production crises, rising poverty, increased migration, and extensive economic damage» (IPCC, 2022). Meanwhile, the IPBES, in its "Global Assessment" Report on the state of the world's natural heritage from 1970 to 2020, cautions: «The rate of global biodiversity loss has reached unprecedented levels in the past fifty years, leading to significant impacts and risks for living conditions and the possibilities not only for development but also for the very survival of humanity» (IPBES, 2023).

In Italy, the impacts of the climate crisis are worsening. Indeed, average temperatures have reached an all-time high of 14°C, and 2023 was marked by the most severe drought in Europe in the last 500 years, with average precipitation in Italy dropping by over 20% compared to the 1990-2020 average. Conversely, the number of extreme climate events reached a new record, with over 3,000 incidents, the highest ever recorded.

As a premise to any strategic-operational considerations, it is essential to acknowledge that the target audience for Environmental Design in today's and future society encompasses political decision-makers and public institutions (at various levels, from the central government to local administrations), those responsible for and involved in planning and design activities (considered across all scales and sectors: public technical offices, architectural and engineering firms, planners, urban designers, architects, designers, and design firms), and the business and production sectors (including medium- and large-scale industries, artisanal companies, entities involved in the supply chains for construction materials and components for both building and urban planning, as well as those engaged in the execution of construction and urban-infrastructure

ro strategica per il rilancio economico, ambientale e sociale del nostro Paese. In quest'ottica assume il ruolo di elemento-chiave un quadro chiaro di obiettivi, di strategie, di *policy* che siano in grado di indirizzare le istituzioni pubbliche e di coinvolgere le principali associazioni imprenditoriali e i principali soggetti professionali nel necessario e improcastinabile progetto di valorizzazione/trasformazione del nostro territorio, col decisivo supporto dello Stato e delle amministrazioni pubbliche dall' "alto" e col consenso e la spinta dei cittadini dal 'basso' o – per dirla con Rifkin – dai 'lati' (Rifkin, 2011).

Pilastri della Progettazione ambientale climaticamente consapevole

Alla luce di queste prime considerazioni è importante chiarire che il corretto approccio a una Progettazione ambientalmente consapevole e '*Climate Neutral*' è quello che ha tenuto – e tiene tuttora – in costante riferimento e considerazione i 10 pilastri su cui si deve poggiare sinergicamente ogni attività finalizzata a dar voce al significato più profondo di Progettazione Ambientale:

– una visione di sviluppo che tenda all'attuazione dell'ormai stratificato e codificato principio di 'Sviluppo sostenibile', nel rispetto delle diversità culturali e delle peculiarità dei luoghi antropizzati; una stratificazione di significato e di provvedimenti che va dal primo Rapporto Brundtland di quasi quarant'anni fa (WCED, 1987), alla Strategia 2020 messa a punto nel 2010 dalla Unione Europea «per una crescita sostenibile, intelligente e inclusiva, quale passo fondamentale da compiere verso la creazione di una nuova governance europea incentrata sui bisogni della società e di tutto il pianeta, così come sugli stretti legami tra politiche economiche, sociali, culturali e ambientali, compresi i posti di lavoro green» (European Commission, 2010), successivamente riaffermata nell'Iniziativa per le professioni nel settore *Green* "*Tapping into the job creation potential of the green economy*" (European Commission, 2014), all'Enciclica papale sull'Ambiente "*Laudato si*" (Papa Francesco, 2015), fino ai *17 Global Goals for Sustainable Development* (United Nations, 2016) con i relativi impatti (WBCSD, 2016; WBCSD, 2017);
– una fondativa consapevolezza, quella della criticità e gravità epocali assunte dalla 'Crisi climatica', che sta condizionando gli scenari e orientando le principali innovazioni nelle scelte di politica economica, ambientale, sociale, in gran parte del mondo e certamente in Europa e nel nostro Paese (IPCC, 2016; WEF, 2017b; WEF, 2020; Crespi *et al*., 2020; Braun and Kropp, 2023; IPCC, 2023; Copernicus, 2024; WEF, 2024), con tappa fondamentale l'Accordo e la Decisione della COP 21 di Parigi che «hanno segnato un cambio di passo globale nel far fronte alla crisi climatica, non solo per il contenuto letterale dei documenti approvati, ma per il significato strategico assunto dal processo reale in atto che con questo Accordo ha trovato un punto di svolta e di nuova spinta mondiale» da parte di 195 governi di altrettanti Paesi firmatari (United Nations, 2015; Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2016a; 2016b);
– una ulteriore consapevolezza, quella sulla centralità di ruolo esercitata nelle prospettive di sviluppo delle nostre realtà abitate dalla questione della 'Efficienza energetica' – e più in generale del rapporto tra Architettura ed Energia – questio-

projects) (Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2014; WEF, 2017a). Equally important is the human dimension, comprising citizens, users, residents, and beneficiaries, with the ultimate goal of achieving widespread benefits and positive impacts on society as a whole (CRESME, 2017).
This highlights the importance of integrating entrepreneurial and design cultures, and emphasises that the Environmental Design approach in interventions across Italian territories is the only truly strategic opportunity for the economic revitalisation of our country. From this perspective, a clear framework of objectives, strategies, and policies becomes a key element, one that can guide public institutions and engage major business associations and professional entities in the essential and unavoidable project of territorial enhancement and transformation, supported decisively by public administrations from the "top", and propelled by citizen consensus and engagement from the "bottom" or – as Rifkin puts it – from the "sides" (Rifkin, 2011).

Pillars of climate-aware environmental design

In light of these initial considerations, it is crucial to clarify that the correct approach to environmentally conscious and 'climate neutral' design is one that has kept – and still keeps – the 10 pillars in constant reference and consideration. Each of these pillars synergistically supports activities aimed at capturing the deeper meaning of Environmental Design:

– a development vision focused on implementing the well-established and codified principle of 'Sustainable Development', respecting cultural diversity and the uniqueness of anthropised places. This layered meaning, rooted in policies from the first Brundtland Report of thirty years ago (WCED, 1987) to the EU's 2020 Strategy established in 2010, pursues «smart, sustainable, and inclusive growth as a fundamental step towards creating new European governance that centres on societal and planetary needs, linking economic, social, cultural, and environmental policies, including green jobs» (European Commission, 2010). This concept was subsequently reaffirmed in the Green Employment Initiative: Tapping into the job creation potential of the green economy (European Commission, 2014). It includes Pope Francis' encyclical '*Laudato si*' on Environment (Papa Francesco, 2015), and the 17 Global Goals for Sustainable Development (United Nations, 2016) with their impacts (WBCSD, 2016; WBCSD, 2017);
– a foundational awareness of the epochal severity of the 'Climate Crisis', shaping scenarios and driving major innovations in economic, environmental, and social policy worldwide, and certainly in Europe and Italy (IPCC, 2016; WEF 2017b; WEF, 2020; Crespi *et al*., 2020; Braun, Kropp, 2023; IPCC, 2023; Copernicus, 2024; WEF 2024). Key milestones include the COP 21 Paris Agreement, which «marked a global shift in addressing the climate crisis, not only for the contents of the approved documents but for the strategic significance of the ongoing process this Agreement catalysed by establishing a global turning point» with the commitment of 195 governments (United Nations,

ne sulla quale la Comunità Europea ha investito moltissimo ed emanato Direttive epocali, che dalla prima 2002/91/CE alla 2012/27/UE fino alla più recente Direttiva EPBD IV (European Commission, 2024), hanno caratterizzato ampi aspetti delle politiche economiche dei Paesi Membri, fino ad incidere sugli indirizzi degli appalti come nel caso in Italia della emanazione dei CAM (Criteri Ambientali Minimi) dove una parte molto importante è assegnata ad un significativo innalzamento dell'asticella nelle prescrizioni sulle prestazioni energetiche degli edifici pubblici (Ministero dell'Ambiente, 2017), con la progressiva attenzione all'ottica del ciclo vita e alla circolarità nei successivi aggiornamenti (Ministero dell'Ambiente, 2022);

– una terza importante consapevolezza, quella sulla centralità di ruolo esercitata dal rinnovato significato di 'Capitale naturale', che la Carta di Roma elaborata dalla Presidenza Italiana del Consiglio dell'Unione Europea pone come uno degli elementi-cardine su cui basare la strategia UE per rilanciare la crescita e l'occupazione dell'UE, che «mira alla protezione della biodiversità per il suo intrinseco valore, si riferisce alla valorizzazione degli ecosistemi, e contribuisce agli obiettivi dell'UE di crescita sostenibile, di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici e di coesione economica, territoriale e sociale» (Council of the European Union, 2015);
– una concezione di scenario che tenga in massima considerazione la questione della 'scarsità di risorse' e l'accezione di 'Economia circolare' (Circular Economy Network, 2021; Circle Economy, Deloitte, 2024) – asse portante della *Green Economy* – che, secondo il Piano di Azione Globale della Comunità Europea nella sua prima (European Commission, 2017) e anche nella sua successiva versione (European Commission, 2020), e in coerenza con quanto affermato recentemente dalla *European Environment Agency*, attiene a un sistema complesso in cui «il valore dei prodotti, dei materiali, dell'energia e delle risorse è mantenuto quanto più a lungo possibile e la produzione di emissioni, inquinamento, scarti e rifiuti è ridotta al massimo» (EEA, 2024) e in cui centrale è «contrastare il depauperamento delle risorse naturali, re-immettere nel mercato le risorse in dismissione e agevolare il recupero delle risorse di valore» (EEA, 2024);
– un duplice principio-chiave della appena citata *Green Economy*, quello che vede combinati insieme i due concetti di "Benessere abitativo" e di "Inclusività sociale", visione che caratterizza la ricerca del miglior benessere e della più elevata qualità dell'abitare, uniti a quella della dimensione sociale dell'inclusività (Sharifi *et al*., 2017; Pereira *et al*., 2021), per combattere il pericolo che la città produca discriminazione ed esclusione, e approdare ad un condiviso principio di 'Benessere inclusivo' (UNEP, 2016; UN-Habitat, 2022);
– una tensione importante verso gli obiettivi di 'Resilienza' e 'Adattività', che hanno acquisito una posizione di assoluta priorità nella scala dei valori richiesti ai comportamenti mèta-prestazionali delle architetture, delle città, dell'ambiente costruito, dei luoghi dell'abitare (Zolli and Healy, 2013), chiamati sempre più spesso e con grande urgenza a fronteggiare e rispondere alle emergenze di tipo ambientale, climatico e microclimatico, sociale e abitativo (European Commission, 2013; European Commission Horizon 2020, 2024), anche in modo "autopietico" (Herzog, 2005;

2015; Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2016a; 2016b);
– another critical awareness is the pivotal role of 'Energy Efficiency' and, broadly, the relationship between Architecture and Energy. The European Community has heavily invested in and issued landmark Directives, from the initial 2002/91/EC to the 2012/27/EU and the recent EPBD IV Directive (European Commission, 2024), which have profoundly influenced the economic policies of Member States and directed procurement guidelines, as in Italy's Minimum Environmental Criteria (CAM). These regulations place strong emphasis on significantly raising energy performance standards for public buildings (Ministry of the Environment, 2017), with progressive updates focusing on life cycle perspectives and circularity (Ministry of the Environment, 2022);
– a heightened awareness of the pivotal role of 'Natural Capital', whose renewed significance was underscored in the Rome Charter, developed by the Italian Presidency of the EU Council. The EU strategy emphasises «protection of biodiversity for its intrinsic value, ecosystem enhancement, and contributions to sustainable growth, climate change mitigation and adaptation, and economic, territorial, and social cohesion» (Council of the European Union, 2015);
– a perspective that gives maximum consideration to the issue of "resource scarcity" and the concept of a "Circular Economy" (Circular Economy Network, 2021; Circle Economy, Deloitte, 2024) – the cornerstone of the Green Economy. The European Commission's Global Action Plan for a Circular Economy, both in its initial (European Commission, 2017) and updated (European Commission, 2020) versions, outlines a complex system in which «the value of products, materials, energy, and resources is maintained as long as possible, minimizing emissions, pollution, waste, and resource depletion» (EEA, 2024). A central focus is on «countering the depletion of natural resources, reintroducing retired resources into the market, and facilitating the recovery of valuable resources» (EEA, 2024);
– a dual key-principle of the Green Economy, combining the concepts of "Housing Well-being" and "Social Inclusivity," aims to foster optimal living quality while promoting inclusivity (Sharifi *et al*., 2017; Pereira *et al*., 2021), addressing the risk that cities may engender discrimination and exclusion, thus fostering a shared principle of "Inclusive Well-being" (UNEP, 2016; UN-Habitat, 2022);
– this aligns with the important goals of 'Resilience' and 'Adaptivity', which have become top priorities for the meta-performative expectations of architecture, cities, the built environment, and living spaces (Zolli and Healy, 2013). These structures are increasingly called upon to urgently respond to environmental, climatic, microclimatic, social, and housing crises (European Commission, 2013; European Commission Horizon 2020; 2024), also in an 'autopoietic' (Herzog, 2005; Schumacher, 2010) and 'self-organising' manner (Eken and Atun, 2019; Tucci *et al*., 2024);

Schumacher, 2010) e "auto-riorganizzativo" (Eken and Atun, 2019; Tucci *et al*., 2024);
- una tensione propositiva ed operativa che pone in primo piano il concetto di 'Rigenerazione urbana', con i relativi processi e modalità d'intervento, *in primis* quelli basati sulla ricerca di mix funzionale, prossimità e consumo di suolo zero, per rendere fattivi e incisivi nelle nostre ricchissime e diversificate realtà abitate le visioni, le concezioni, le consapevolezze, i princìpi sopra enunciati che si pongono come assi portanti di una *Green Economy* da sviluppare per il futuro delle nostre città, nella dimensione edilizia e urbana del nostro Paese (TECHNE, 2015; ICLEI, 2022), in linea con le indicazioni dell'Unione Europea (European Commission, 2014; 2019), e col supporto della transizione digitale (Maksimovic, 2018; Muench *et al*., 2022);
- un approccio ecosistemico ai problemi, alle questioni in gioco e alle strategie ed azioni per risolverli, che faccia riferimento alla visione di tipo '*Life Cycle*' strutturante uno degli aspetti portanti della Progettazione Ambientale, capace di sostanziare la 'circolarità' del sistema economico, la 'sostenibilità' dello sviluppo, la 'mitigabilità' della crisi climatica, l''efficientabilità' della questione energetica, la 'capitalizzabilità' del patrimonio naturale, la 'inclusività' del benessere, la 'adattabilità' alle emergenze climatico-ambientali e la 'rigenerabilità' delle città; e di includere il concetto di 'Costo ambientale' (da integrare nel prossimo futuro anche con quello di 'Costo sociale' e di 'Costo del non fare') in tutte le strategie e azioni da questi assi sottese (UNEP/SETAC, 2011; UNEP, 2011; Dual Citizen, 2016);
- da ultimo, ma non certo per importanza, un necessario e doveroso richiamo alla 'Bellezza' dell'Architettura e della Città nel nostro Paese, e alla 'Qualità' architettonica e urbana ricchissima e diversificata nel nostro Territorio che – nonostante il degrado della crescita quantitativa e dell'espansione incontrollata – è punto di riferimento nel mondo per l'intrinseco valore qualitativo dei suoi spazi dell'Abitare, per ritrovare nella 'Qualità della Progettazione' l'asse portante del pensare, del costruire e del fare dell'uomo nei suoi interventi sulla città del futuro.

Obiettivi e strategie della Progettazione Ambientale verso la *Climate Neutrality*: tutto è interrelato

In relazione al carattere delle problematiche e delle criticità su enunciate, e in coerenza con i "pilastri" su cui possiamo poggiare la nostra visione e l'approccio ad una sempre rinnovata Progettazione Ambientale, si possono estrapolare i 3 principali macro-obiettivi, tra loro indissolubilmente legati in vista del perseguimento del traguardo della '*Climate Neutrality*', che animano la formulazione degli assi strategici e la caratterizzazione dei relativi principali ambiti tematici di lavoro:

1. ricerca di sostenibilità ambientale a tutto tondo, con assi principali: a. mitigazione delle cause del *climate change*, adattamento agli impatti da cambiamenti climatici, aumento delle capacità di resilienza e reattività alle emergenze di tipo ambientale; b. uso efficace e circolare delle risorse materiali e liquide, gestione efficiente e sostenibile della questione energetica; c. miglioramento della qualità ambientale, protezione del capitale naturale, degli ecosistemi, della biodiversità e dei suoli urbani;

- a proactive and operational tension prioritising 'Urban Regeneration', with its processes and intervention modes, to render the above visions, concepts, awareness, and principles of a Green Economy practical and impactful within Italy's richly diverse inhabited spaces, addressing both urban and architectural dimensions (TECHNE, 2015; ICLEI, 2022) in line with the European Union's guidelines (European Commission, 2014, 2019) and with the support of the digital transition (Maksimovic, 2018; Muench *et al*., 2022);
- an ecosystemic approach to problems, relevant issues, and strategies and actions for their resolution. This is fundamentally linked to the 'Life Cycle' perspective, structuring one of the main aspects of Environmental Design, with the capacity to substantiate the 'circularity' of the economic system, 'sustainability' of development, 'mitigation' of the climate crisis, 'efficiency' of the energy issue, 'capitalisation' of natural heritage, 'inclusivity' of well-being, 'adaptivity' to emergencies, and 'regeneration' of cities. This also incorporates the concept of 'Environmental Cost' (to be integrated with "Social Cost" in the future) across all strategies and actions supported by these pillars (UNEP/SETAC, 2011; UNEP, 2011; Dual Citizen, 2016);
- finally, though no less important, a necessary emphasis on the 'Beauty' of Architecture and Cities in Italy, and the rich and diverse 'Quality' of architectural and urban spaces within our territory. Despite the degradation from quantitative growth and uncontrolled expansion, Italian cities remain global benchmarks for the intrinsic qualitative value of their living spaces.

Environmental design goals and climate neutrality strategies: everything is interrelated

In relation to the nature of the issues and challenges outlined above, and consistently with the "pillars" supporting our vision and approach to an ever-evolving Environmental Design, three main macro-objectives can be identified, inextricably linked in pursuit of the goal of 'Climate Neutrality'. These will inform the formulation of strategic guidelines and define the key thematic areas in the following section:

1. search for all-round environmental sustainability, with main axes: a. mitigating the causes of climate change, adapting to climate change impacts, and enhancing resilience and responsiveness to environmental emergencies; b. ensuring effective and circular use of material and liquid resources, and promoting efficient, sustainable energy management; c. improving environmental quality, protecting natural capital, ecosystems, biodiversity, and urban soils;
2. social sustainability research, with main axes: a. protecting social capital and institutionally rebuilding capacity-building structures; b. increasing safety conditions, service provision for the population, and enhancing social inclusivity, quality of life, and well-being;
3. enhancing the immense heritage of cultural identities within residential areas, architecture, and cities.

In exploring and clarifying the character of the three macro-objectives we have identified, it is useful to draw comparisons with several key documents produced internationally in

2. ricerca di sostenibilità sociale, con assi principali: a. tutela e valorizzazione del capitale sociale, rigenerazione 'umana', ricostruzione istituzionale del *capacity building* e diffusione dei processi di partecipazione e condivisione sociale; b. aumento delle condizioni di sicurezza e di offerta di servizi alla popolazione, e miglioramento delle condizioni di accessibilità, inclusività, qualità e benessere sociale;
3. tutela, valorizzazione e rigenerazione dell'enorme patrimonio di identità culturali dei luoghi dell'abitare, dell'architettura, delle città.

Nell'indagare e chiarire il carattere dei tre macro-obiettivi che abbiamo enucleato può essere utile operare un confronto con alcuni dei documenti-chiave prodotti a livello internazionale negli ultimi anni. Tra questi, il fondamentale report della *International Energy Agency* sulle prospettive future in tema energetico (IEA, 2008) e il più recente rapporto sullo stato del settore delle costruzioni (IEA, 2021), gli studi della *Organisation for Economic and Cooperation Development* sugli indicatori *Towards Green Growth* (OECD, 2011) e sulle innovazioni di materiali e risorse, le Relazioni strategiche dell'OCSE sul futuro della crescita verde prodotte tra il 2011 e il 2015 (OCSE, 2015), il rapporto della Commissione Europea sugli obiettivi e le *policy nature-based* (European Commission, 2015), il Rapporto annuale sul *Green Business Index* realizzato dal Gruppo GreenBiz con Trucost e in particolare quello del 2016 (GreenBiz Group, 2016), nonché i rapporti annuali sullo Stato della Green Economy in Italia (Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2023), l'importante elaborazione dell'UNEP sul necessario carattere di inclusività della *Green Economy* (UNEP, 2016), il report del *World Economic Forum* sul futuro delle costruzioni (WEF, 2017a), gli studi della *European Environment Agency* sugli indicatori relativi al *Climate Change* (EEA, 2017; EEA, 2019; Crespi *et al*., 2020; EEA, 2021), e i monitoraggi progressivi del livello di circolarità raggiunto a livello nazionale e globale (Circular Economy Network, 2021) e del relativo contributo al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica (IPCC, 2022; Circle Economy, Deloitte, 2024).

È inoltre importante confrontarsi con alcuni scritti-chiave del panorama internazionale che si sono stratificati tra i 20 e i 10 anni fa circa, e che si sono posti alla base delle evoluzioni strategico-operative operate nell'ultimo decennio: dai testi fondativi di Herzog e Daniels (Herzog, 2005; Daniels, 2009), alle riflessioni innovative proposte, tra gli altri, da Schumacher, Coyle, Petzet e Cheshire (Schumacher, 2010; Coyle, 2011; Petzet *et al*., 2012; Cheshire, 2016) alla visione offerta da Rockström sulla Terra futura (Rockström, 2016).

In risposta alle 'macro-problematiche' e 'criticità' esposte nella parte iniziale del presente contributo, alla luce dei 'macro-obiettivi' e dei 'pilastri' su cui essi si poggiano, giungiamo così a focalizzarci sul quadro degli 'assi strategici' della Progettazione Ambientale e delle relative strategie di azione progettuale, nel percorso verso un ambiente costruito *Climate Neutral* (Tucci, 2018; Tucci *et al*., 2020; Tucci *et al*. 2023°; 2023b; 2023c).

L'ampio quadro di strategie e di azioni è ascrivibile a una sorta di 'decalogo' di assi strategici, articolati in tre gruppi:

a. Il primo gruppo, costituito da 3+2 'assi strategici', è riferibile alla ricerca di *Sostenibilità Ambientale*, che vede in primo piano i tre assi che riescono a fornire risposte ai tre "macigni" di macro-problematiche ricordati in apertura che premono sulle spalle dell'umanità (assi 1, 2, 3) e, a sup-

recent years. Among these, the pivotal report from the International Energy Agency on future energy prospects (IEA, 2008), and the more recent report on the state of the construction sector (IEA, 2021) provide critical insights. Additionally, studies by the Organisation for Economic Co-operation and Development on indicators towards green growth (OECD, 2011) and innovations in materials and resources contribute valuable data. The OECD's strategic reports on the future of green growth produced between 2011 and 2015 (OECD, 2015), the European Commission's report on nature-based objectives and policies (European Commission, 2015), and the annual Green Business Index report prepared by GreenBiz Group in collaboration with Trucost, particularly that of 2016 (GreenBiz Group, 2016), are also essential references. Moreover, the annual reports on the State of the Green Economy in Italy (Fondazione Sviluppo Sostenibile, 2023) and UNEP's important elaboration on the necessary inclusivity of the Green Economy (UNEP, 2016) provide important context. The recent report from the World Economic Forum on the future of construction (WEF, 2017a), along with the latest studies by the European Environment Agency on Climate Change indicators (EEA, 2017; EEA, 2019; Crespi *et al*., 2020; EEA, 2021), and the progressive monitoring of national (Circular Economy Network, 2021) and global levels of circularity, alongside their contribution to achieving climate neutrality goals (IPCC, 2022; Circle Economy, Deloitte, 2024), are also significant.

It is also essential to engage with several key writings stratified between the past 20 and 10 years, which have emerged over the past decade within the international discourse, precisely from foundational texts by Herzog and Daniels (Herzog, 2005; Daniels, 2009) to innovative reflections proposed by Schumacher, Coyle, Petzet, and Cheshire (Schumacher, 2010; Coyle, 2011; Petzet *et al*., 2012; Cheshire, 2016), culminating in the vision offered by Rockström regarding the future of the Earth (Rockström, 2016).

In addressing the 'macro-issues' and 'criticalities' outlined in the opening section of this contribution, and in alignment with the overarching 'macro-objectives' and foundational 'pillars', through the reference and methodology filter provided by 'methodological approaches', we focus on the framework of 'strategic axes' within Environmental Design and the corresponding project action strategies, on the path to a Climate Neutral built environment (Tucci, 2018; Tucci *et al*., 2020; Tucci *et al*. 2023a; 2023b; 2023c).

The broad framework of strategies and actions can be ascribed to a kind of 'decalogue' of strategic axes, divided into three groups:

a. The first group, consisting of 3+2 'strategic axes', relates to the pursuit of Environmental Sustainability, with three primary axes responding to the "burdens" of macro-issues identified earlier that weigh on humanity (axes 1, 2, 3); and, supporting the first three axes, two additional strategic axes (axes 4, 5) are closely correlated, providing cross-cutting impacts crucial to achieving these foundational objectives.
b. The second group, comprising 2 'strategic axes' (axes 6, 7), focuses on the pursuit of Social Sustainability.
c. The third group, including 3 'strate-

porto di questi primi tre, due ulteriori assi strategici (assi 4, 5) che si rivelano fittamente correlati con essi, ed esercitanti in modo trasversale ricadute estremamente importanti per il raggiungimento degli obiettivi da essi sottesi.

b. Il secondo gruppo, costituito da 2 'assi strategici' (assi 6, 7), è riferibile alla ricerca di *Sostenibilità Sociale*.

c. il terzo gruppo, costituito da 3 'assi strategici' (assi 8, 9, 10), è riferibile alla ricerca di *Tutela, valorizzazione e rigenerazione dei luoghi*, e permette al contempo in modo trasversale e multi-scalare, in particolare attraverso il decimo asse, la complessa integrazione tra tutti gli altri assi strategici relativi alla ricerca al contempo di *Sostenibilità Ambientale, Sociale e Culturale* (per una rappresentazione d'insieme dei 10 assi strategici, dei loro obiettivi specifici, delle relative strategie e delle principali categorie di azioni progettuali, si vedano le due tabelle della Fig. 1).

Conclusioni

La *Progettazione Ambientale,* basandosi su approcci, obiettivi e strategie che, come abbiamo visto, guardano al nostro futuro per tracciare il cammino verso uno sviluppo sostenibile nell'èra della crisi climatica ed ecologica, punta a rendere concreto e incisivo il percorso, promuovendo conoscenza, ricerca, innovazione, sperimentazione, buone pratiche, interventi concreti e fattibili, al fine di realizzare i cambiamenti necessari per conseguire la '*Climate Neutrality*' richiesta al 2050 e avere, in modo integrato, un ambiente costruito più stabile, resiliente e adattivo, un benessere di migliore qualità e più inclusivo, una tutela del capitale naturale più efficace, una circolarità nell'uso delle risorse più diffusa e una efficienza dei servizi ecosistemici più incisiva.

Un modello di città bella, accogliente, intelligente, resiliente, sostenibile e '*climate neutral*' non può che aprire una nuova fase per l'architettura e le città del nostro futuro: con nuove idee e nuove pratiche, con l'utilizzo di tecnologie innovative e della ricerca, ma anche riprendendo e dando rinnovato impulso a buone idee e buone pratiche note da tempo, trasformando le difficoltà e le sfide in opportunità di sviluppo, valorizzando le sinergie fra attività pubbliche governative e quelle delle amministrazioni locali, tra dimensione istituzionale dello Stato e quella umana del cittadino e del fruitore, tra attività finalizzate al benessere e all'inclusione sociale e quelle della tutela e valorizzazione ambientale, per puntare sugli approcci, gli obiettivi, le strategie e le azioni che la *Progettazione Ambientale* può apportare alle nostre realtà come scelta di fondo per progettare un futuro più desiderabile.

REFERENCES

Braun, K., Kropp, C. (2023), "Building a better world? Competing promises, visions, and imaginaries-in-the-making of the digitalization of architecture and construction", *Futures*, Vol. 154, p. 103262. Available at: https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103262.

Cheshire, D. (2016), *Building Revolutions: applying the Circular Economy to the Built Environment*, RIBA Publishing, London.

Circle Economy, Deloitte (2024), *The Circularity Gap Report 2024. A circular economy to live within the safe limits of the planet.*

Circular Economy Network (2021), *Terzo Rapporto sull'Economia Circolare in Italia. Focus sull'economia circolare nella transizione alla neutralità climatica*, available at: https://www.fondazionesvilupposostenibile.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/3%C2%B0-Rapporto-sulleconomia-circolare-in-Italia-2021.pdf

gic axes' (axes 8, 9, 10), is related to the search for protection, enhancement and regeneration of places. It also allows, in a transversal and multi-scalar manner, particularly through the tenth axis, the complex and concomitant integration of all the other strategic axes related to research, such as Environmental, Social and Cultural Sustainability (for an overview of the 10 strategic axes, their specific objectives, related strategies and main categories of project actions, see the two tables in Fig. 1).

Conclusions

Environmental Design is, in fact, based on approaches, objectives, and strategies that look to our future, capable of keeping the path toward sustainable development open in the era of climate and ecological crises. Environmental Design aims to make this journey concrete and impactful by promoting knowledge, research, innovation, experimentation, best practices, and feasible interventions, to bring about the changes needed to achieve the required 'Climate Neutrality' by 2050. These efforts are directed at achieving, in an integrated way, a built environment that is more stable and resilient, higher quality and more inclusive well-being, a more effective protection of natural capital, greater resource-use circularity, and increased efficiency of ecosystem services.

A model of a beautiful, welcoming, intelligent, resilient, sustainable and 'climate neutral' city can only initiate a new phase for the architecture and cities of our future. This future will be built through new ideas and new practices, the use of innovative technologies and research, but also by revisiting and reinvigorating long-standing good ideas and practices, turning difficulties and challenges into development opportunities. This approach values synergies between public government activities and those of local administrations, between the institutional dimension of the State and the human dimension of the citizen and user, between activities aimed at well-being and social inclusion, and those of environmental protection and enhancement. These approaches, objectives, strategies, and actions that Environmental Design can bring to our realities are a fundamental choice for designing a more desirable future.

01 | Quadro d'insieme degli Assi strategici, Obiettivi, Strategie e Azioni progettuali, di riferimento della Progettazione Ambientale, verso la *Climate Neutrality*: il perseguimento di una piena neutralità climatica entro il 2050 richiede uno sforzo non solo nell'impiego di Strategie e Azioni esplicitamente attinenti alle risposte da dare alla macro-questione dei Cambiamenti Climatici (Asse 1), ma anche nella necessità di agire in modo fortemente interrelato tra tutti i 10 Assi strategici (Elaborazione di Fabrizio Tucci, col supporto dei ricercatori Valeria Cecafosso, Paola Altamura, Gaia Turchetti, Giada Romano, Marco Giampaoletti, Chiara Mastellari e Gaia Garofali)

Broad framework of the Strategic Axes, Objectives, Strategies and Project Actions, as a reference for Environmental Design, towards Climate Neutrality: the pursuit of full climate neutrality by 2050 requires an effort not only in the use of Strategies and Actions explicitly related to the responses to be given to the macro-issue of Climate Change (Axis 1), but also in the need to act in a strongly interrelated manner among all 10 Strategic Axes (Elaboration by Fabrizio Tucci, with the support of researchers Valeria Cecafosso, Paola Altamura, Gaia Turchetti, Giada Romano, Marco Giampaoletti, Chiara Mastellari and Gaia Garofali)

ASSI STRATEGICI	OBIETTIVI SPECIFICI	STRATEGIE	AZIONI PROGETTUALI
1. NEUTRALITÀ E RESILIENZA CLIMATICA	1.1 Mitigazione climatica	*Mitigare nel breve-medio termine e azzerare nel medio-lungo termine le emissioni di gas climalteranti, attraverso:* - uscita dalle fonti fossili e conversione verso fonti rinnovabili - efficientamento energetico - riduzione dei fabbisogni e dei consumi energetici - implementazione dei sistemi bioclimatici naturali passivi - sottrazione di CO2 attraverso soluzioni di "greening" e soluzioni "grey"	- Integrare soluzioni bioclimatiche passive - Impiegare / integrare nell'architettura sistemi di energia alternativa low carbon e sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili - Progettare edifici che rispettino i criteri dell'architettura bioclimatica - Implementare coperture e pareti verdi secondo la visione "*greening the grey*" - Impiegare materiali a cambiamento di fase per migliorare le prestazioni energetiche - Progettare involucri dotati di sistemi di autoregolazione dinamica alle condizioni ambientali e bioclimatiche - Ottimizzare gli impianti tramite ICT
	1.2 Adattamento ai cambiamenti climatici	*Migliorare la capacità di adattamento agli impatti da cambiamenti climatici e aumentare la complessiva resilienza dei sistemi naturali e antropici, attraverso:* - contrasto ai fenomeni di siccità - contrasto ai fenomeni di pluvial flooding, alluvioni, ecc. - contrasto ai fenomeni di incremento delle isole di calore - contrasto ai fenomeni delle ondate di calore - contrasto ai fenomeni di ventosità estreme, bufere, uragani	- Implementare sistemi antiallagamento e bacini inondabili - Realizzare vasche di stoccaggio e fitodepurazione - Impiegare pavimentazioni permeabili e drenaggio sotto il livello superficiale - Creare infrastrutture verdi e blu per mitigare le alluvioni - Introdurre verde verticale con piantumazione di specie resistenti alla siccità - Impiegare *Living seawalls* e *wetlands* - Introdurre materiali ad alta capacità di riflessione della radiazione solare diretta per ridurre l'effetto isola di calore - Fare impiego di ventilazione naturale nella progettazione degli spazi interni ed esterni per il controllo del loro comportamento bioclimatico passivo dei periodi caldi dell'anno
2. EFFICIENZA E CIRCOLARITÀ DELLE RISORSE	2.1 Transizione verso l'economia circolare e la bioeconomia	*Passare ad un modello di complessiva circolarità delle risorse, attraverso:* - prevenzione alla radice della produzione di rifiuti - riciclo e riuso dei materiali e degli scarti da lavorazioni edilizie e industriali - riciclo e riuso dei rifiuti da usi civili (per produzione di energia, biogas, biofertilizzanti, ecc.) - recupero, stoccaggio e riuso di acque grigie e piovane - incentivazione sul piano gestionale del management circolare delle risorse naturali e dei loro scarti	- Sensibilizzare gli utenti alla prevenzione dei rifiuti tramite il ricorso al modello "*product as service*" - Immettere nella progettazione caratteri di reversibilità e decostruibilità per prevenire la produzione di rifiuti da demolizione a medio e lungo termine - Integrare spazi dedicati alla raccolta differenziata che supportino riuso e riciclo di scarti organici e inorganici - Creare "*circular hub*" per la raccolta e distribuzione di beni e prodotti riutilizzabili - Integrare "*repair café*" per la riparazione e il riuso degli oggetti - Recuperare scarti organici a fini energetici - Recuperare e riutilizzare acque grigie e piovane tramite sistemi di raccolta - Risparmiare / diminuire il consumo della risorsa idrica e contenere la produzione di acque reflue
	2.2 Gestione ecologicamente efficace ed efficiente delle risorse	*Passare ad un modello di gestione ecologica delle risorse, attraverso:* - impiego di materiali e componenti ecocompatibili - impiego di materiali e componenti riciclati - impiego di materiali e componenti altamente riciclabili - impiego di materiali e componenti con *bassa embedded energy footprint* - impiego di materiali e componenti con *bassa embedded carbon footprint* - impiego di materiali e componenti con bassa *embedded water footprint*	- Progettare con componenti di riuso per assicurare una bassa *embedded energy* - Progettare con componenti di riuso per assicurare una bassa *embedded water* - Progettare con componenti di riuso per assicurare una bassa *embedded carbon* - Adottare materiali con elevato contenuto di riciclato - Adottare componenti con elevato contenuto di riusato - Progettare sistemi costruttivi decostruibili con materiali riciclabili - Preferire materiali da costruzione rinnovabili e *bio-based* - Prediligere materiali locali per ridurre gli impatti da trasporto
3. QUALITÀ AMBIENTALE	3.1 Ripristino della biodiversità e degli ecosistemi	*Potenziare il patrimonio di biodiversità nell'ambiente costruito, attraverso:* - aumento del grado di naturalità delle aree costruite - incentivazione degli interventi di greening - incentivazione dei corridoi di biodiversità - promozione delle infrastrutture verdi e blu - diminuzione / azzeramento del consumo di suolo	- Creare corridoi di biodiversità - Realizzare infrastrutture verdi e blu - Realizzare piantumazioni con specie autoctone - Realizzare coperture verdi e, più in generale, involucri verdi o comunque integrati con la componente 'green' - Recuperare i sistemi dunali laddove preesistenti - Integrare percorsi didattici e interattivi per educare i cittadini alla tutela degli ecosistemi
	3.2 Miglioramento del comfort ambientale, abbattimento dell'inquinamento e protezione della salute umana e degli ecosistemi	*Incidere sui problemi del comfort, dell'inquinamento e della salute attraverso:* - contrasto al discomfort termoigrometrico negli spazi dell'ambiente costruito - tutela e ripristino della qualità dell'aria - tutela e ripristino della qualità delle acque - tutela e ripristino della qualità dei suoli - tutela dall'inquinamento acustico e controllo dei fattori acustici - tutela dall'inquinamento luminoso e controllo dei fattori percettivo e luminoso - tutela dall'inquinamento elettromagnetico - tutela dall'inquinamento da radon	- Integrare aree vegetate negli spazi interni, intermedi ed esterni per migliorare la qualità dell'aria e ridurre lo stress - Introdurre fontane e specchi d'acqua per migliorare il microclima, a fronte di simulazioni e verifiche progettuali predittive delle prestazioni attese - Impiegare nebulizzatori per mitigare il discomfort estivo - Realizzare spazi urbani ombreggiati - Utilizzare cool materials e materiali fonoassorbenti per mitigare l'inquinamento acustico e termico - Progettare spazi che ottimizzino la luce naturale, combinandole con schermature solari per evitare riverberi e garantire comfort visivo - Implementazione sistemi di controllo per l'inquinamento acustico e luminoso - Sviluppare soluzioni di raffrescamento urbano come tetti e pareti verdi per migliorare il comfort termico nelle città
4. TRANSIZIONE ENERGETICA	4.1 Efficacia ed efficienza nella gestione e consumo dell'energia	*Migliorare in senso ecologico la gestione dell'energia attraverso:* - riduzione dei fabbisogni e dei consumi energetici - efficientamento energetico - implementazione dei sistemi bioclimatici passivi	- Adottare sistemi bioclimatici passivi per ridurre i fabbisogni energetici invernali - Adottare sistemi bioclimatici passivi per ridurre i fabbisogni energetici durante i periodi caldi dell'anno - Migliorare l'isolamento termico superando le richieste minime da normativa, ma a fronte di simulazioni predittive, possibilmente dinamiche, dei comportamenti energetici dell'edificio nel suo complesso - Impiegare sistemi elettrici e termici ad alta efficienza - Utilizzare sistemi attivi per recupero del calore - Impiegare sistemi intelligenti per monitorare i consumi energetici e ottimizzare l'efficienza
	4.2 Produzione pulita e rinnovabile e distribuzione a rete e "smart dell'energia"	*Migliorare in senso ecologico la produzione, stoccaggio e distribuzione dell'energia attraverso:* - produzione dell'energia da fonti rinnovabili e non fossili - stoccaggio dell'energia elettrica e termica in modo innovativo ed efficiente - distribuzione dell'energia elettrica e termica a rete e "smart"	- Adottare sistemi e dispositivi integrati nell'architettura per la produzione energetica da fonti non fossili e rinnovabili - Utilizzare batterie di stoccaggio innovative, laddove reputate necessarie - Sviluppare reti 'smart' per la distribuzione e gestione energetica - Realizzare comunità energetiche rinnovabili per favorire l'autonomia energetica locale
5. MOBILITÀ SOSTENIBILE	5.1 Incentivazione 'soft' della mobilità sostenibile	*Promuovere la mobilità sostenibile attraverso strategie 'soft':* - limitazione della circolazione delle auto private in città e promozione della circolazione tramite mezzi pubblici - promozione della *sharing mobility* in un'ottica di avanzamento tecnologico anche con sistemi ITC ed ITS	- Creare aree urbane dedicate al solo traffico pedonale, ciclabile e ai mezzi pubblici, in aree centrali o strade commerciali, riducendo l'accesso veicolare (ZTL) - Realizzare ambiti urbani che garantiscano maggiore sicurezza agli utenti deboli della strada, moderando la velocità del traffico veicolare (Zone 30 km/h) - Adottare carburanti sostenibili (SAF) e tecnologie per il carburante a emissioni zero (ZEF) - Installazione parcheggi per biciclette sicuri e visibili nei punti strategici, come fermate dei mezzi pubblici e zone commerciali - Implementare campagne di sensibilizzazione per promuovere l'uso dei mezzi pubblici e della mobilità condivisa e gli spostamenti a piedi e in bicicletta e con micromobilità sostenibile - Incentivare piattaforme digitali *sharing mobility (car sharing, bike,* ecc), e favorire la prenotazione dinamica di veicoli condivisi, con indicazioni di disponibilità e localizzazione in tempo reale - Supportare la diffusione di soluzioni che consentano il car pooling (percorsi in auto condivisi) - Implementare app di gestione del trasporto pubblico che forniscano in tempo reale informazioni su orari, percorsi e disponibilità dei mezzi; nonché adottare sistemi di AVM - Automatic Vehicle Monitoring e AVL - Automatic Vehicle Location per monitorare il servizio esercitato dai veicoli pubblici
	5.2 Incentivazione 'hard' della mobilità sostenibile	*Promuovere la mobilità sostenibile attraverso strategie 'hard':* - incremento delle reti di percorsi ciclabili e pedonali tramite infrastrutture lineari esistenti e nuove - incremento e sviluppo di reti interoperabili per ricarica elettrica per l'incentivazione dell'uso di auto elettriche, ibride, a biometano, a idrogeno verde	- Valorizzare il ruolo delle stazioni ferroviarie (laddove esse siano di competenza dell'Agenzia del Demanio) finalizzato da un lato a una più equilibrata rete policentrica di insediamenti e servizi, dall'altro alla localizzazione e/o rilocalizzazione selettiva di centri di attività e servizi attrattori di grande traffico a ridosso dei maggiori nodi del trasporto pubblico locale - Adeguare i marciapiedi esistenti per garantire standard di larghezza e abbattimento delle barriere architettoniche - Promuovere azioni mirate per le aree pubbliche marginali, svantaggiate, degradate e periferiche della città, sviluppando trasporto pubblico flessibile e su domanda, e favorendo l'accessibilità a quelle aree anche ai fini di una migliore coesione territoriale e sociale - Progettare e realizzare piste ciclabili e aree pedonali sicure e connesse con le principali arterie di trasporto pubblico - Installare colonnine di ricarica diffuse per veicoli elettrici - Progettare infrastrutture che permettano l'integrazione delle stazioni di ricarica con la rete elettrica intelligente (*smart grid*), garantendo una gestione efficiente dell'energia - Progettare e adottare sistemi *Vehicle-to-Grid* (V2G) per consentire ai veicoli di restituire energia alla rete in caso di surplus - Creare spazi urbani pubblici dedicati alla *sharing mobility*, come parcheggi riservati e stazioni di ricarica per veicoli elettrici condivisi
6. CONDIVISIONE E PARTECIPAZIONE SOCIALE	6.1 Favorire il coinvolgimento e condivisione sociale	*Favorire la coesione sociale e il senso di appartenenza alla comunità attraverso:* - coinvolgimento dei cittadini nelle scelte riguardanti il loro territorio. - potenziamento della condivisione sociale nei processi conoscitivi e decisionali - promozione di attività culturali e artistiche per favorire la coesione - promozione dei processi di aggregazione e interazione sociale - favorire la creazione reti sociali - sensibilizzazione e coinvolgimento della comunità sulla sostenibilità per incentivare una migliore gestione delle risorse verso un modello self-sufficiency	- Realizzare *community hub* energeticamente efficienti come centri di dialogo e partecipazione. - Progettare spazi multifunzionali per laboratori di co-working e formazione - Realizzare orti urbani per promuovere l'autosufficienza alimentare e l'educazione ambientale - Implementare spazi temporanei per eventi - Creare spazi di rigenerazione come fab lab e maker spaces per sviluppare progetti innovativi - Progettare percorsi didattici per sensibilizzare la comunità alla tutela degli ecosistemi - Integrare spazi esperienziali per una fruizione diretta e immersiva degli ambienti naturali - Progettare spazi "phone free" per incentivare la socializzazione e il distacco dalle distrazioni digitali - Integrare spazi educativi per la sensibilizzazione dei cittadini sui temi dell'energia rinnovabile e della sostenibilità - Sviluppare spazi flessibili per attività educative e culturali, come biblioteche temporanee e aule all'aperto - Organizzare eventi temporanei per rafforzare la socializzazione - Creare percorsi didattici nei siti storici per sensibilizzare sulla relazione tra cultura e ambiente - Realizzare eventi partecipativi legati alla cultura locale per favorire l'inclusione sociale
	6.2 Favorire la partecipazione sociale	*Favorire la partecipazione attiva e propositiva della comunità attraverso:* - implementazione di processi partecipativi nei processi di programmazione, progettazione - incentivare la gestione e manutenzione condivisa degli spazi della comunità - supportare processi di autoproduzione e di realizzazione partecipata - supportare processi di autogestione e co-gestione di spazi comuni per rafforzare il senso di appartenenza - favorire microeconomie locali che supportino la vitalità del quartiere	- Creare processi partecipativi per coinvolgere cittadini, associazioni, imprese e istituzioni nella definizione delle priorità di rigenerazione - Stabilire accordi tra amministrazioni e cittadini per la cura e la gestione partecipata e condivisa di aree verdi, piazze e strutture sportive - Favorire la nascita di microeconomie locali attraverso mercati temporanei e artigianali - Creare sportelli di ascolto utilizzati come presidi fissi per raccogliere segnalazioni, accogliere suggerimenti e richieste - Integrare strumenti digitali per il monitoraggio e la gestione degli spazi partecipativi in modo attivo e propositivo - Somministrare questionari periodici per promuovere e attuare processi di cambiamento - Realizzare di laboratori di quartiere o *Living Lab*

ASSI STRATEGICI	OBIETTIVI SPECIFICI	STRATEGIE	AZIONI PROGETTUALI
7. INCLUSIONE E ACCESSIBILITA' A SPAZI E SERVIZI DELLA CITTA'	7.1 Favorire l'inclusione e l'accessibilità a spazi e servizi	*Favorire l'inclusione sociale e creare ambienti accessibili e fruibili per tutti, indipendentemente dalle abilità fisiche, cognitive o sensoriali degli utenti attraverso:* - offerta di servizi, di base e innovativi, accessibili a tutta la comunità - promozione del concetto di prossimità e del mix funzionale a tutte le scale - progettazione di ambienti accessibili attraverso "Universal Design approach" - progettazione di ambienti per ridurre il gender gap e promuovere l'inclusione sociale - progettazione di spazi, ambienti e percorsi pubblici accessibili, inclusivi, sicuri, flessibili e trasformabili, capaci di rispondere a nuove domande della comunità - miglioramento dei servizi pubblici e della mobilità sostenibile per tutti	- Progettare percorsi senza barriere architettoniche e con pavimentazioni tattili e sistemi di guida vocale - Integrare infrastrutture per la mobilità dolce e sostenibile - Installare QR code che offrano informazioni in tempo reale sull'accessibilità e la gestione energetica degli spazi - Creare spazi flessibili per attività culturali e sociali - Integrare bagni pubblici inclusivi - Progettare spazi sensoriali che stimolino percezioni tattili, visive e sonore - Creare playground per bambini di tutte le abilità con attrezzature accessibili - progettazione di spazi orientati al benessere psico-fisico della comunità - progettazione di spazi di incontro, permanenti o temporanei, che favoriscano la socializzazione, la cultura e l'interazione
	7.2 Garantire il benessere e la qualità della fruizione degli spazi	*Creare ambienti che promuovano il benessere socio-ambientale e psico-fisico, oltre a migliorare la qualità complessiva della fruizione degli spazi attraverso:* - incentivazione e diffusione del benessere socio-ambientale e del benessere psico-fisico degli utenti - progettazione di ambienti che stimolino i sensi in modo equilibrato, senza sovraccaricare visivamente o acusticamente - miglioramento delle condizioni di fruizione e uso degli spazi	- Creare spazi pubblici sicuri, attrattivi e funzionali - Progettare percorsi sensoriali con materiali tattili e anti-riflesso - Creare ambienti tranquilli e rilassanti, come sale silenziose o cortili verdi, per il recupero psico-fisico degli utenti - Immettere nella progettazione degli spazi interni ed esterni caratteri di controllo del comfort ambientale nei periodi freddi dell'anno - Immettere nella progettazione degli spazi interni ed esterni caratteri di controllo del comfort ambientale nei periodi caldi dell'anno
8. TUTELA E VALORIZZAZIONE DELL'IDENTITÀ STORICO-CULTURALE-SCIENTIFICA E PROMOZIONE DELL'ACCESSO ALLA CULTURA	8.1 Valorizzazione dell'identità storico-culturale-scientifica	*Attivare processi di valorizzazione dell'identità storico-culturale-scientifica del luogo attraverso:* - Promozione/valorizzazione dell'identità e carattere culturale, scientifico e tecnologico del territorio - Promozione per il cittadino delle azioni di coinvolgimento nell'identità storico -culturale, scientifica, tecnologica e nella conoscenza dello straordinario patrimonio, materiale e immateriale, presente nella città e nel territorio - definizione/ridefinizione di un uso appropriato dei beni culturali - sviluppo delle azioni/attività sui beni culturali come strumento di coesione sociale - incentivazione di attività economiche legate alla cultura nei beni e nel loro contesto - creazione di sistemi/ network/ reti del patrimonio culturale articolati e coerente con l'individuazione dei target prevalenti	- Utilizzare i siti iconici del patrimonio per promuovere un senso di urgenza sull'azione per il clima, mettendo in relazione impatti del cambiamento climatico e gli approcci di mitigazione ai siti e alle destinazioni del turismo culturale - Integrare distretti creativi e culturali che promuovano start-up artistiche finalizzate a valorizzare l'identità storico-culturale-scientifica-tecnologica del luogo - Sviluppare piattaforme digitali per il racconto e la valorizzazione della storia e dell'identità locale - Promuovere laboratori o incubatori culturali per sviluppare competenze legate al patrimonio storico-culturale - Ricerca e attuazione di incentivi finanziari efficaci, tra cui sovvenzioni, crediti d'imposta e altri incentivi, per promuovere azioni tese a valorizzare l'identità storico-culturale-scientifica del luogo
	8.2 Promozione della fruizione dei beni, dell'accesso alla cultura e della partecipazione culturale	*Attivare processi di fruizione del patrimonio storico-culturale e della cultura attraverso:* - promozione di un'offerta culturale coerente e rispondente alle necessità dei territori e alle diverse fasce della popolazione. - promozione dell'accessibilità alla cultura per tutti nell'ambito dei beni del patrimonio pubblico (anche con tecniche innovative e immersive) - incentivazione/attivazione di un sistema di relazioni nazionali e internazionali di confronto sui temi culturali	- Ricerca e sviluppo di indicatori economici per promuovere la consapevolezza e la valutazione dei benefici dei progetti di riuso e rigenerazione adattativa, compresi gli effetti catalizzatori sullo sviluppo futuro - Aggiornare le strategie di sviluppo e gestione del turismo culturale incorporando i principi dello sviluppo compatibile con il clima nei modelli di turismo sostenibile - Integrare tecnologie immersive (AR/VR) per rendere i beni culturali più accessibili a tutti i cittadini - Sviluppare percorsi interattivi nei siti storici con segnaletica multilingue
9. TUTELA E RIGENERAZIONE DEL PATRIMONIO STORICO-CULTURALE	9.1 Definizione/ridefinizione della valenza culturale e qualità architettonica e progettuale del patrimonio	*Creare/incentivare la qualità architettonica del patrimonio e progettuale attraverso:* - conoscenza, tutela e "cura" (prevenzione e manutenzione) dei beni pubblici di valore storico-culturale e del loro contesto - reintegrazione del patrimonio storico in disuso e/o degradato nelle pratiche, negli usi e nella vita urbana - innalzamento della qualità progettuale degli interventi compatibili con l'esistente - incentivazione della qualità architettonica degli interventi compatibili con l'esistente - incentivazione di processi compensativi/integrativi della qualità ambientale	- Assicurare l'educazione e formazione sul patrimonio esistente, con il coinvolgimento della comunità - Integrare sistemi, componenti e materiali che migliorino il comportamento energetico dell'edificio nell'ambito degli interventi di restauro - Progettare il riuso adattivo di edifici dismessi, in disuso e degrado - Sostenere gli usi tradizionali e sostenibili degli spazi pubblici nelle città e negli insediamenti umani, compresa la mixité funzionale - Indagare le necessità della comunità per il reinserimento di attività e servizi di cui hanno bisogno - Mediare progettualmente i conflitti tra i risultati dell'efficienza e la conservazione dei valori del patrimonio - Sviluppare, migliorare, implementare e promuovere la certificazione dell'efficienza energetica, l'etichettatura, la messa in servizio e la metodologia di monitoraggio, gli standard e i criteri adattati agli edifici storici e ai sistemi di costruzione tradizionali, anche attraverso codici di ristrutturazione e di nuova costruzione e altri sistemi di segnalazione - Sviluppare una guida chiara ed efficace nel contesto del paesaggio storico urbano per facilitare il riuso adattivo degli edifici esistenti, conservando i valori del patrimonio - Incoraggiare una pianificazione regionale e territoriale che sostenga i confini tradizionali tra luoghi rurali e urbani, faciliti le interazioni e la connettività urbano-rurale e valorizzi gli approcci tradizionali a basse emissioni di carbonio per la produzione, lo stoccaggio, il trasporto e la commercializzazione degli alimenti ai consumatori in modo adeguato e conveniente - Sviluppare metodi per ottimizzare l'integrazione tra la progettazione passiva tradizionale e le tecnologie contemporanee per trovare soluzioni a basse emissioni più performanti
	9.2 Allineamento tra strategie ambientali e tutela del patrimonio storico-culturale	*Tutelare il patrimonio tenendo conto degli obiettivi di sostenibilità ambientale attraverso:* - adeguamento delle strategie di mitigazione/adattamento climatico alla specificità del patrimonio storico-culturale - adeguamento delle strategie di transizione verso l'economia circolare e la bio-economia, e di gestione ecologicamente efficace ed efficiente delle risorse, alla specificità del patrimonio storico-culturale - adeguamento delle strategie di miglioramento del comfort ambientale, abbattimento dell'inquinamento e protezione della salute umana alla specificità del patrimonio storico-culturale - adeguamento delle strategie di efficacia ed efficienza nella produzione pulita e rinnovabile, distribuzione, gestione e consumo dell'energia alla specificità del patrimonio storico-culturale	- Monitorare e misurare le emissioni in termini di gas serra degli interventi nell'ambiente costruito - Monitorare e misurare il comportamento termico ex ante ed ex post degli ambienti in cui si opera - Agire sulla domanda energetica per ridurre le emissioni di carbonio - Integrare tecnologie per la produzione e gestione di energia rinnovabile negli edifici storici - Sviluppare, adattare e adottare gli standard delle politiche nazionali NZEB per il patrimonio edilizio storico - Analizzare e promuovere la comprensione del ruolo critico della manutenzione ordinaria e della conservazione per il miglioramento del comportamento energetico dell'edificio - Quantificare l'embodied carbon nei materiali dell'esistente e di progetto - Adottare un approccio *Life Cyle* al progetto - Ricorrere al *Life Cycle Assessment* per valutare diversi scenari progettuali - Migliorare il monitoraggio e la misurazione dei flussi materici e ridurre al minimo gli sprechi - Incentivare il recupero/riutilizzo/riciclo dei materiali verso un modello *near zero waste* - Promuovere l'integrazione tra approcci tradizionali e innovativi alla gestione dell'acqua e dei rischi correlati, compresi approcci tradizionali attraverso un uso efficiente del territorio, utilizzano soluzioni basate sulla natura e riducono le emissioni di gas serra associate evitando cicli di costruzione, distruzione e ricostruzione - Monitorare e misurare il comportamento termico ex ante ed ex post degli ambienti in cui si opera - Monitorare e misurare il benessere psicofisico, luce e aria degli spazi confinati - Introdurre e migliorare l'uso di criteri per la conservazione e l'incoraggiamento del riutilizzo del patrimonio costruito collegati a sistemi di certificazione e standard per la bioedilizia, ad esempio LEED, BREEAM, SITES, BEAM, ecc. - Favorire la disponibilità ad accogliere impianti e progetti di energia rinnovabile, anche contribuendo attivamente alla mappatura delle località rurali e urbane più adatte ad accogliere tali progetti, riducendo al contempo l'impatto sui valori del patrimonio - Sviluppare in modo proattivo linee guida, standard e migliori pratiche per accogliere le installazioni di energia rinnovabile (ad esempio, pannelli solari, turbine eoliche) evitando o riducendo gli impatti materiali sui valori del patrimonio culturale
10. RIGENERAZIONE, PUNTANDO SU PROSSIMITÀ, MIX FUNZIONALE, CONSUMO DI SUOLO ZERO E SOSTENIBILITÀ ECONOMICA	10.1 Promozione degli aspetti 'immateriali' di prossimità e di sostenibilità economica nei processi di rigenerazione e razionalizzazione	*Attivare processi 'immateriali' di rigenerazione e razionalizzazione, attraverso:* - incentivazione di strategie volte all'integrazione tra aspetti ambientali, sociali, economici e culturali della rigenerazione - incentivazione / valorizzazione del concetto di prossimità, anche nella visione di una *self-sufficiency* delle comunità - incentivazione di operazioni di rigenerazione connesse anche alla razionalizzazione degli usi degli immobili pubblici con abbattimento dei fitti passivi - incentivazione di maggiori investimenti in partenariato pubblico-privato, che siano in grado di creare attrattività, vitalità e rigenerazione nella Città, contribuendo al contempo al miglioramento dei saldi di finanza pubblica	- Favorire lo sviluppo insediativo intervenendo sugli edifici pubblici da riqualificare / rifunzionalizzare in modo coerente con l'obiettivo del mix delle funzioni e dei servizi (produttivi, commerciali, terziari, residenziali, del tempo libero, ecc.) - Introdurre spazi condivisi flessibili per attività locali ed eventi temporanei - Promuovere l'utilizzo temporaneo di edifici o spazi vuoti sottoutilizzati - Favorire soluzioni pop-up come negozi temporanei, ristoranti sperimentali o co-working mobili - Organizzare laboratori per insegnare ai cittadini pratiche sostenibili di prossimità, come il compostaggio domestico o l'autoproduzione di energia - Favorire lo sviluppo di mercati di prossimità, con attenzione a prodotti locali e artigianali, per sostenere l'economia del quartiere - Ottimizzare l'uso degli spazi pubblici con micro-interventi che aumentino la fruibilità e la qualità degli ambienti urbani - Promuovere il "verde di prossimità", integrando spazi piantumati anche in aree ad alta densità urbana - Promuovere orti urbani e giardini condivisi per rafforzare il senso di comunità e l'autosufficienza alimentare - Favorire la creazione di reti di economia circolare a livello di quartiere. - Ripensare i quartieri esistenti in ottica di creazione di "distretti 15 minuti" - Creare mappe fisiche e digitali che mostrino i servizi essenziali e le connessioni a breve raggio - Abbattere le spese per locazione passive sostenute dallo Stato con particolare riguardo ai canoni sostenuti in favore di soggetti fuori dal perimetro ISTAT o superiori ai livelli correnti del mercato
	10.2 Promozione degli aspetti 'materiali' degli interventi volti ad aumentare flessibilità e mix funzionale degli spazi e consumo di suolo zero nella rigenerazione	*Attivare processi 'materiali' di rigenerazione, attraverso:* - ripensamento profondo del patrimonio edilizio pubblico, in relazione ai caratteri ambientali e sociali del suo contesto e alla necessità di dotare i suoi spazi di flessibilità e adattività nelle configurazioni, negli usi e nelle funzioni - promozione del mix funzionale a tutte le scale - riduzione del consumo di suolo, verso il "consumo di suolo zero", anche con eventuale densificazione (laddove sia utile e possibile)	- Progettare spazi flessibili in senso polifunzionale e accessibili - Incentivare il riuso di edifici esistenti per adattarli a nuovi usi, garantendo flessibilità funzionale - Realizzare strutture modulari e flessibili che possano essere riconfigurate facilmente in base alle esigenze - Recuperare spazi ed edifici inutilizzati per destinarli a scopi pubblici o comunitari - Attivare progetti di rigenerazione che combinino interventi ambientali (verde urbano), sociali (spazi inclusivi), culturali (eventi comunitari) ed economici (spazi per attività locali) - Promuovere il ripristino di suoli degradati - Favorire la riconversione di aree dismesse con destinazioni d'uso flessibili che rispondano a molteplici bisogni - Progettare hub multimodali che combinino funzioni residenziali, lavorative e culturali in un unico complesso denso e compatto - Promuovere l'autosufficienza energetica nei quartieri e supportare la creazione di cooperative energetiche e di comunità energetiche - Promuovere la densificazione urbana (laddove sia utile e possibile) in aree già edificate per evitare l'espansione su suoli non urbanizzati, verso l'obiettivo "consumo di suolo zero" - Laddove si operino interventi di abbattimento e ricostruzione, anche con eventuale incremento di volumi, non aumentare, nel suo complesso, l'impronta a terra della nuova edificazione sostitutiva della precedente - Sviluppare progetti pilota che utilizzino tecnologie smart (ad es. sistemi IoT e sensori per monitorare l'uso degli spazi) per ottimizzare la gestione e la flessibilità degli edifici

Copernicus (2024), *The annual climate Summary – Global Climate Highlights 2023*, European Union's Earth Observation Programme.

Council of the European Union (2015), *Charter of Rome on the natural and cultural capital,* Italian Presidency of the Council of the European Union, Brussels.

Coyle, S.J. (2011), *Sustainable and resilient communities. A comprehensive Action Plan for Towns, Cities and Regions*, John Wiley & Sons Inc, Hobocken.

CRESME (Centro Ricerche Sociologiche e di Mercato per l'Edilizia e il Territorio) (2017), *L'architetto nella città del futuro. Scenari di trasformazione del mercato e della professione*.

Crespi, A., Terzi, S., Cocuccioni, S., Zebisch, M., Berckmans, J. and Füssel, H-M (2020), "Climate-related hazard indices for Europe". European Topic Centre on Climate Change impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA) Technical Paper 2020/1.

Daniels, K. *(*2009), *Energy Design for Tomorrow,* Axel Menges, Kornwestheim.

Dual Citizen (2016), *Global Green Economy Index GGEI,* Washington DC, US.

EEA (European Environment Agency) (2016), *Circular Economy in Europe. Developing the knowledge base*, EEA Report, n. 2.

EEA (European Environment Agency) (2017), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*, available at: http://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016.

EEA (European Environment Agency) (2019), *The European environment – state and outlook 2020 – knowledge for transition to a sustainable Europe*, available at: https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020.

EEA (European Environment Agency) (2021), *Europe's changing climate hazards – an index-based interactive EEA Report*, available at: https://www.eea.europa.eu/publications/europes-changing-climate-hazards-1/climate-hazards-indices

EEA (European Environment Agency) (2024), *Addressing the environmental and climate footprint of buildings*, available at: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/addressing-the-environmental-and-climate-footprint-of-buildings

Eken, C., and Atun, A. (2019) "The Self-Organizing City and the Architecture of Metabolism: An Architectural Critique on Urban Growth and Reorganization", *Sustainability*, Vol. 11, n. 19, p. 5326. Available at: https://doi.org/10.3390/su11195326.

European Commission (2010), *EUROPE 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*, Brussels [COM(2010)2020].

European Commission (2013), *An EU Strategy on adaptation to climate change*, Brussels [COM(2013)216].

European Commission (2014), *Green Employment Initiative: Tapping into the job creation potential of the green economy,* Brussels [COM(2014)446].

European Commission (2015), *Carta di Roma sul Capitale Naturale e Culturale,* Documento emanato durante la Presidenza Italiana del Consiglio dell'Unione Europea.

European Commission (2015), *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities.*

European Commission (2017), *Report on the Implementation of the Circular Economy Action Plan,* Brussels [COM(2017)33].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final.

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final".

European Commission (2024), *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings.*

European Commission *Horizon 2020* (2014), *Call: Disaster-resilience: safeguarding and securing society, including adapting to climate change.* Call identifier: H2020-DRS-2014-2015.

Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2014), *Le imprese della Green Economy*, Edizioni Ambiente, Milano.

Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2016a), *Italy Climate Report. La svolta dopo l'accordo di Parigi,* SUSDEF, Roma.

Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2016b), *Relazione sullo stato della Green Economy. L'Italia in Europa e nel Mondo*, SUSDEF, Roma.

Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2023), *Relazione sullo stato della Green Economy.* SUSDEF, Roma. Available at: https://www.statigenerali.org/wp-content/uploads/2023/11/Relazione-sullo-stato-della-green-economy-2023.pdf

GreenBiz Group (2016), *Annual Report on Green Business Index,* edited with Trucost.

Herzog, T. (2005), *Architecture+Technology*. Prestel Verlag, Munich, London, NewYork.

ICLEI (2022), *City-level circular economy interventions to protect and enhance biodiversity*, Bonn, available at https://circulars.iclei.org/resource/city-level-circular-economy-interventions-to-protect-and-enhance-biodiversity/

IEA (International Energy Agency) (2008), *WorldEnergy Outlook,* OECD/IEA Publishing, Paris.

IEA (International Energy Agency) (2021), *Global Status Report for Buildings and Construction 2021 – Towards a zero-emission, efficient and resilient building and construction sector*. Available at: globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction.

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) (2023), *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*, IPBES Editions.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2016), *Special Report on Climate Change.*

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II*, available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2023), *AR6 – Climate Change 2023 – Summary report*, Switzerland, available at: https://report.ipcc.ch/ar6syr/index.html (accessed November 7, 2023).

Maksimovic, M. (2018), "Greening the Future: Green Internet of Things (G-IoT) as a Key Technological Enabler of Sustainable Development", in AA.VV., *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*, pp. 283-313.

Ministero dell'Ambiente (2017), Decreto 11.10.2017 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici".

Ministero dell'Ambiente (2022), Decreto 23.06.2022 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici".

Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M. and Scapolo, F. (2022), *Towards a green and digital future*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) (2015), *Towards a Green Growth*.

OECD (Organisation for Economic and Cooperation Development) (2015), *Material Resources, Productivity and the Environment*, OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2011), *Towards Green Growth: Monitoring Progress OECD Indicators.* OECD Publishing, Paris.

Papa Francesco (2015), *Laudato Sì. Lettera enciclica sulla cura della casa comune*, Libreria Editrice Vaticana, Città del Vaticano.

Pereira, L., Olsson, P., Charli-Joseph, L., *et al.* (2021), "Transdisciplinary methods and T-Labs as transformative spaces for innovation in social-ecological systems", *Transdisciplinary* J.of *Engin. & Science*, Vol. SP-1, pp. 13-16.

Petzet, M., Heilmeyer, F. (2012), *Reduce Reuse Recycle. Architecture as Resource*. Hatje Cantz Verlag, Berlin.

Rifkin, J. (2011), *The Third Industrial Revolution; How* '*Lateral Power*' *is Transforming Energy, the Economy, and the World*, Palgrave MacMillan Edition, London.

Rockström, J. (2016), "Future Earth", *Science*, Vol. 351, n. 6271. Available at: https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aaf2138.

Schumacher P. (2010), *Autopoiesis of Architecture*, *Vol.1: A New Framework for Architecture*, John Wiley & Sons, London.

Sharifi A., Chelleri L., Fox-Lent C., *et al.* (2017), "Conceptualizing Dimensions and Characteristics of Urban Resilience: Insights from a Co-Design Process", *Sustainability*, Vol. 9, n. 6. Available at: https://doi.org/10.3390/su9061032.

TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment (2015), *Urban Regeneration | Rigenerazione urbana*, monographic issue of the magazine TECHNE, Vol. 10. Available at: https://oaj.fupress.net/index.php/techne/issue/view/351.

Tucci F., Baiani S., Altamura P. and Turchetti G. (2024), "Climate proofing dell'ambiente urbano tra processo e progetto: una metodologia olistica e partecipata | *Climate proofing of the urban environment between process and design: a holistic and participatory methodology*", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environm*ent, vol. 27, pp. 137-150. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-15170.

Tucci, F. (2018), *Green Building and Dwelling. Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design | Costruire e Abitare Green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, Altralinea Edizioni, Firenze.

Tucci, F., Amadei, F., Pani, M.M. and Romano, G. (2023c), *Verso la neutralità climatica di architetture e città green. Sperimentazioni e casi di studio nel Nord e Mittel Europa*, Franco Angeli, Milano.

Tucci, F., Cecafosso, V., Altamura, P. and Turchetti, G. (2023a), *Verso la neutralità climatica di architetture e città green. Approcci, indirizzi, strategie, azioni*, Franco Angeli, Milano.

Tucci, F., Cecafosso, V., Caruso, A. and Turchetti, G. (2020), *Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green. Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito,* Franco Angeli, Milano.

Tucci, F., Giampaoletti, M., Nava, F., Tulelli, V. (2023b), *Verso la neutralità climatica di architetture e città green. Sperimentazioni e casi di studio nel Sud Europa e in area mediterranea*, Franco Angeli, Milano.

UN-Habitat (2022), The Sustainable Development Goals Report 2022, United Nations, available at https://unhabitat.org/the-sustainable-development-goals-report-2022

UNEP (United Nations Environment Programme) (2011), *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.*

UNEP (United Nations Environment Programme) (2016), *Inclusive Green Economy Report.*

UNEP/SETAC (United Nations Environment Programme and Society for Environmental Toxicology and Chemistry) Life Cycle Initiative (2011), *Greening the Economy Through Life Cycle Thinking.*

United Nations (2016), *The Global Goals for Sustainable Development.*

United Nations, COP 21 (Conference of the Parties, Twenty-First Session) (2015), *Adoption of the Paris Agreement,* Framework Convention on Climate Change [FCCC//CP/2015/L9], Paris.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2016), *Report 2016.*

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2017), *How we drive sustainable development.*

WCED (World Commission on Environment and Development) (1987), *Our common future,* Oxford University Press, Oxford.

WEF (World Economic Forum) (2017), *Shaping the future for Construction. Inspiring Innovators redefine the industry.* In collaboration with The Boston Consulting Group.

WEF (World Economic Forum) (2017), *The Global Risk Report 2017.*

WEF (World Economic Forum) (2020), *The Global Risk Report 2020.*

WEF (World Economic Forum) (2024), *The Global Risk Report 2024.*

Zolli, A. and Healy, A.M. (2013), *Resilience. Why things bounce back,* Simon and Schuster, New York.

Philippe Rahm
Philippe Rahm architectes, Paris, France
info@philipperahm.com

Tradizionalmente, l'architettura e l'urbanistica si fondavano sul clima e sulla salute, come testimoniano i trattati di Vitruvio, Palladio o Alberti, in cui l'esposizione al vento e al sole, così come le variazioni di temperatura e umidità, influenzavano la forma delle città e degli edifici. Questi principi fondamentali sono stati trascurati nella seconda metà del XX secolo, grazie all'ampio utilizzo di energia fossile attraverso sistemi di riscaldamento, condizionamento, pompe e refrigerazione, che oggi causano l'effetto serra e il riscaldamento globale. Parallelamente, l'introduzione di antibiotici e vaccini ha risolto molti problemi sanitari, permettendo ad architetti e urbanisti di concentrarsi su aspetti culturali piuttosto che fisiologici, estetici piuttosto che sanitari.
La lotta al cambiamento climatico impone oggi a progettisti e urbanisti di riprendere seriamente in considerazione le questioni climatiche, basando la progettazione su un'attenta valutazione del contesto climatico locale e delle risorse energetiche. Allo stesso modo, la pandemia di Covid-19 ha riportato l'attenzione sui fattori sanitari nella progettazione degli spazi urbani e architettonici, evidenziando l'importanza, ad esempio, della ventilazione o della scelta del rame come materiale di contatto.
Di fronte alle sfide climatiche e sanitarie del XXI secolo, proponiamo di rifondare la disciplina architettonica sulle sue qualità atmosferiche intrinseche, dove aria, luce, calore e umidità siano riconosciuti come veri materiali del costruire. Fenomeni fisici come convezione, conduzione termica, evaporazione, emissività o effusività diventano strumenti progettuali per comporre l'architettura e la città, capaci, attraverso una dialettica materialista, di rivoluzionare valori estetici e sociali.
Quando non parliamo più di una piazza cittadina, ma di un'"isola di freschezza urbana"; quando non parliamo più di una prospettiva che punta a una statua del sovrano, ma di una brezza urbana che rinfresca e disperde l'inquinamento da particolato fine; quando il colore di un edificio non è più letto in chiave culturale (rosso per i pompieri, nero per il rock, per semplificare) ma secondo l'albedo; quando la distribuzione degli spazi abitativi non si basa più sulla separazione pubblico-privato ma su livelli di umidità dell'aria e movimenti di convezione atmosferica; quando la facciata non è più progettata per prestigio o rappresentazione, ma per isolare termicamente gli interni e ridurre i consumi energetici: tutto ciò rappresenta semplicemente un ritorno alle fondamenta della nostra disciplina.

Mutamento climatico

In una conferenza del 20 febbraio, Antonio Hodgers, presidente del Consiglio di Stato del Cantone di Ginevra, ha illustrato la necessità di una radicale revisione delle politiche urbane per far fronte al riscaldamento globale. Tradizionalmente considerata una città montana per via della sua posizione ai piedi delle Alpi (temperatura media annua di 10,3°C), Ginevra sarà, secondo le previsioni climatiche al 2100, assimilabile al clima della Puglia (temperatura media di 16,4°C), anche nello scenario di una significativa riduzione delle emissioni. Di conseguenza, l'urbanistica e l'architettura ginevrine, finora orientate al freddo, dovranno progressivamente ispirarsi al modello mediterraneo. Per Antonio Hodgers, l'urbanistica e l'architettura di tipo montano, adottate da secoli a Ginevra per combattere il freddo, devono ora lasciare il posto a un modello mediterraneo, come quello sviluppato da secoli in Puglia. In quest'ottica, i paini urbanistici della città di Ginevra dovranno essere completamente ripensati

RESILIENT CITIES AND CLIMATE SHIFT

Architecture and urbanism were traditionally based on climate and health, as we can read in treatises by Vitruvius, Palladio or Alberti, where exposure to wind and sun, variations in temperature and humidity influenced the forms of cities and buildings. These fundamental causes of urban planning and buildings were ignored in the latter half of the 20th century with the massive use of fossil energy by heating and air conditioning systems, pumps and refrigerators that, today, cause the greenhouse effect and global warming. Similarly, antibiotics and vaccines that appeared at the same time largely solved health problems, allowing architects and urban planners to focus on cultural rather than physiological, aesthetic rather than health issues.
The fight against climate change forces architects and urban designers to seriously consider the climatic issue in order to base their design on the local climatic context and energy resources. Similarly, the Covid-19 pandemic reminded us of health factors associated with the design of urban and architectural space, the importance, for instance, of ventilation or the choice of copper as a contact material.
Faced with the climatic and sanitary challenges of the 21st century, we propose re-establishing our discipline on its intrinsic atmospheric qualities, where air, light, heat or humidity are recognised as actual materials of buildings. Convection, thermal conduction, evaporation, emissivity, or effusivity are becoming design tools for composing architecture and cities. Indeed, materialism dialectics are now enabling such factors to revolutionise aesthetic and social values.
When we no longer speak of a square in town but of an "island of urban freshness", when we no longer speak of a perspective pointing at a statue of a king but of an urban breeze to refresh and evacuate air pollution with fine particles, when we no longer speak of the colour of a building from a cultural point of view (red means firemen, black means Rock n' Roll) but of albedo, when we no longer design apartment plans according to private-public principles, but according to air humidity levels and atmospheric convection movements, when we design a building façade no longer for prestige and for what it means, but to thermally insulate the interior from the exterior, and thus reduce the energy consumed, all this is really just a return to the basics of our discipline.

Climate shift

At a conference held on February 20[1], Antonio Hodgers, President of the

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17670

per affrontare l'aumento delle temperature e il crescente numero di ondate di calore previsto nei prossimi anni.
Città come Ginevra – ma lo stesso vale per Parigi e molte città del Nord Europa – non sono storicamente predisposte alle alte temperature estive. Le strade sono troppo larghe, offrono poca ombra e permettono ai raggi del sole di penetrare in profondità, trasformandosi in calore che si accumula sull'asfalto di strade e marciapiedi. I materiali utilizzati per i tetti e le pavimentazioni minerali sono troppo scuri e si surriscaldano al sole, contribuendo all'aumento della temperatura dell'aria. Le finestre degli edifici sono troppo grandi e prive di protezioni solari, lasciando entrare direttamente i raggi solari e innalzando la temperatura interna. Anche i muri sono troppo sottili e, se non adeguatamente isolati e poco esposti al cielo notturno, non riescono a sfruttare il fresco notturno per raffrescare gli ambienti interni durante il giorno grazie all'inerzia termica.
Occorre dunque ripensare la Ginevra del futuro, così come la Parigi del 2100, come se si trovassero climaticamente 6° più a sud: Ginevra, oggi a una latitudine di 46,2° nord, si troverebbe idealmente a 40,6°. Parigi assumerebbe un clima simile a quello di Bastia, Bordeaux a quello di Palermo, Lione a quello di Tangeri e Lille, tra ottant'anni, avrà un clima paragonabile a quello attuale di Madrid.
Di fronte a tali trasformazioni climatiche e geografiche, la storia mostra tre risposte principali che oggi tornano nuovamente all'opera.
La risposta premoderna è la più delicata e consiste nella trasformazione fisica e culturale delle strutture urbane, dei colori, dei materiali, delle forme architettoniche e del rapporto tra edifici e ambiente esterno. Parigi si mediterraneizzerà: sbiancata, dotata di fontane e giochi d'acqua, raffrescata da correnti d'aria, interrata per sfruttare il fresco ipogeo, resa più compatta fino a ricordare la Tangeri storica. Queste misure di adattamento climatico sono già in corso, come l'imbiancamento delle strade o la piantumazione di alberi nelle piazze. Quest'ultima soluzione, se da un lato offre preziose zone d'ombra nello spazio urbano, come fanno i platani in Provenza, dall'altro comporta un effetto collaterale: le foglie degli alberi hanno un'albedo molto basso, il che può contribuire a un aumento complessivo della temperatura cittadina.
La seconda risposta è quella della modernità. Parigi tenderà ad assomigliare a Dubai, abbandonando gli spazi pubblici all'aperto, divenuti troppo caldi, in favore di ambienti interni climatizzati. Le strade e le piazze del centro lasceranno il posto a centri commerciali, e le persone trascorreranno il proprio tempo all'interno di edifici raffreddati dall'aria condizionata, che però riversa il calore all'esterno, rendendo l'ambiente urbano ancora più torrido e insopportabile. Questa soluzione è stata adottata a partire dagli anni '50, prima nel sud degli Stati Uniti, poi nei Paesi del Golfo e nel Sud-est asiatico, rendendo abitabili per l'uomo climi estremi come quelli desertici o tropicali. È la stessa logica che in passato ha permesso, grazie al riscaldamento centrale, di rendere vivibili le regioni più fredde del pianeta. Anche oggi adottiamo questa strategia ogni volta che acquistiamo un condizionatore per affrontare estati sempre più lunghe e afose, o quando accendiamo l'aria condizionata in auto. Tuttavia, questa soluzione comporta un consumo energetico enorme, di cui l'85% ancora dipende da fonti fossili che sono responsabili del riscaldamento globale. Per questo motivo, tale strategia diventa insostenibile a meno che non si realizzi, nel più breve tempo

State Council of the Canton of Geneva, explained the radical overhaul of urban policy he now had to undertake for the Swiss city of Geneva in the face of global warming. Until now, considering its location at the foot of the Alps, Geneva has almost been regarded as a mountain town (with an average annual temperature of 10.3° Celsius). The main concerns were the cold, snow and lack of sunshine, but forecasts showed that by 2100, even if we succeed in limiting future greenhouse gas emissions, Geneva's climate will no longer correspond at all to that of present day Switzerland, but to that of Apulia in southern Italy (where the current average annual temperature is 16.4° Celsius). For Antonio Hodgers, the mountain-style urban planning and architecture that has been in place in Geneva for centuries to combat the cold must now give way to the Mediterranean-style urban planning and architecture that has been developed for centuries in Apulia. It is in this sense that the city of Geneva's urban plans will have to be completely rethought now to cope with the temperature rises in the years to come, and the increasing number of heatwaves.
A city like Geneva – the same is true for Paris and all northern European cities – is not historically suited to high summer temperatures, as it was designed to cope with the cold. Streets are too wide, they do not provide enough shade, and let the sun's rays sink too low until they turn into heat in the asphalt of streets and sidewalks. Roofing materials and mineral floors are too dark and overheat in the sun, causing air temperatures to rise. Building windows are too large and unprotected from the sun, letting the sun's rays penetrate directly into interiors and raise temperatures. Moreover, wall thicknesses are too thin, so if they are not thermally insulated and not sufficiently exposed to the sky at night, they cannot take advantage of the nighttime coolness that would cool interiors by inertia during the day.
So we're going to have to imagine the Geneva of the future, as well as the Paris of the year 2100, in a geographical shift of 6° to the south, moving Geneva from a latitude of 46.2° north to 40.6°. Paris will become Bastia, Bordeaux's climate will correspond to that of Palermo, Lyon to that of Tangiers, and Lille will have a climate like Madrid's in 80 years' time.
In the face of these far-reaching geographical and climatic changes, history shows us the three responses provided, which are being put in place again today, simultaneously.
The first, pre-modern response is the gentlest and the most peaceful. It consists of a physical and cultural transformation of city structures, colours, materials, building forms and relationships with the outside world. Paris will become Mediterraneanised, whitened, filled with fountains and water features, open to the cooling winds, buried to take advantage of the coolness of basements, and tightened until it resembles the Tangiers of yesteryear. These are the climate adaptation measures the city of Paris and other metropolises are beginning to test, whether by whitening streets or planting trees in squares – the latter solution being beneficial for the shade it brings to urban space, like that provided by plane trees in Provence, but actually leading to a general increase in the city's temperature due to the very low albedo of tree leaves.
The second response is that of modernity. Paris is going to resemble Dubai,

possibile, una vera transizione energetica verso le fonti rinnovabili, che permetterebbero di climatizzare senza aggravare ulteriormente la crisi climatica.
La terza e ultima risposta, probabilmente la più problematica finché prevarranno politiche nazionali, è quella della migrazione: l'abbandono delle città divenute troppo calde in favore di nuove località geografiche più fresche e vivibili. È una dinamica che già oggi si osserva timidamente quando, d'estate, molti lasciano Parigi per la campagna, la montagna o le località marine. La storia ci insegna però che queste migrazioni possono avere effetti devastanti e generare conflitti prima che si trovino nuovi equilibri territoriali e sociali. Per comprendere la portata del fenomeno, si può fare un parallelo con il cambiamento climatico che colpì l'Europa a partire dal 1315. Se oggi il riscaldamento globale è causato dall'uomo, fu invece un fenomeno naturale a provocare quella che conosciamo come "Piccola Era Glaciale": un raffreddamento generale del clima europeo di circa 1°C, protrattosi fino al XIX secolo. Come spiegato dal climatologo inglese Hubert H. Lamb nel suo libro *Climate, History and the Modern World* (1982), le conseguenze urbane furono un generale spostamento verso sud delle popolazioni umane, animali e vegetali. Le città troppo fredde e settentrionali vennero abbandonate in favore di quelle più calde situate più a sud. La corte norvegese, ad esempio, lasciò l'antica capitale Trondheim (latitudine 63,3° N), che da allora iniziò a decadere, trasferendosi prima a Bergen (60,3° N), poi a Oslo (59,9° N), fino a stabilirsi definitivamente a Copenaghen (55,7° N), seguendo un analogo spostamento verso sud dei banchi di aringhe, passati dal Mare di Norvegia al Mare del Nord. Queste migrazioni, pur avvenendo all'interno dello stesso regno, generarono tensioni e disordini sociali, dalle Highlands scozzesi alla Boemia. Quando i flussi migratori superarono i confini nazionali, le conseguenze furono tragiche. Ad esempio, la Guerra dei Cent'anni, che ebbe luogo nel territorio francese della Guyenne (oggi regione della Nouvelle-Aquitaine) tra il XVI e il XV secolo, iniziò quando i vigneti inglesi smisero di produrre vino a causa del freddo nel 1315, al passaggio dal Piccolo Optimum Medievale (un periodo climatico caldo e pacifico che vide l'ascesa della civiltà medievale europea) alla Piccola era glaciale, che portò gli inglesi a conquistare i vigneti di Bordeaux, controllandone il territorio fino al 1436, al costo di una guerra disastrosa con il Regno di Francia. Vale la pena ricordare che, dal Neolitico fino al XIX secolo, vino e birra fornivano più della metà delle calorie necessarie all'essere umano e rappresentavano la principale fonte di "acqua" potabile. Il riscaldamento globale attuale sta però invertendo questa tendenza: invece di spostarsi di 7° verso sud, le città dovranno migrare di circa 6° verso nord per ritrovare il clima originario. Parigi, ad esempio, dovrebbe spostarsi a Edimburgo, Lione a Düsseldorf e il clima attuale di Bordeaux si ritroverebbe a Bruxelles entro il 2100.
Il futuro delle città sarà inevitabilmente influenzato da tre strategie principali, che dovranno essere messe in atto contemporaneamente: una radicale riadattazione dei principi urbanistici e architettonici per rendere vivibili le ondate di calore, una rapida auspicabile transizione dalle fonti fossili alle energie rinnovabili, e una migrazione verso aree climaticamente più favorevoli. La politica, a livello nazionale, europeo e globale, avrà un ruolo fondamentale per prevenire i conflitti che già abbiamo conosciuto e che proprio per questo è necessario anticipare ed evitare.

abandoning outdoor public space, which is now too hot, in favour of air-conditioned indoor spaces. The streets and squares of the city centre will give way to shopping malls, and people will spend their time inside buildings cooled by air-conditioning that will reject the heat into the streets, which will become even hotter and more unbearable. This second solution was applied from the 1950s onwards, first in the southern United States, then in the Arab Emirates and South-East Asia, making the extreme climates of arid deserts and tropical jungles habitable for human beings, enabling their tremendous economic and demographic development (in exactly the same way as central heating had previously made it possible in the West, by making very cold regions of the globe habitable). It is a solution we already adopt when we go to buy an air-conditioning unit for our apartment because this summer's heatwave is lasting too long, or simply when we switch on the air-conditioning in our car. But today, because this solution consumes an insane amount of energy, 85% of which is still dependent on fossil fuels, which are responsible for global warming, it is absolutely unthinkable, unless we succeed in the energy transition over the next few years, and completely abandon fossil fuels for renewable energies, which will make air conditioning possible without any further damage to the climate.
The third and final solution is likely to be the most problematic for as long as national policies remain in place, namely migration, abandoning today's excessively hot cities in favour of new, cooler, more favourable geographical locations, as already timidly practised when people leave Paris in summer for the countryside or other higher altitude locations, or to take advantage of the coolness of the sea. History shows us the disastrous effects of this, and the long wars that followed, before new territorial divisions of populations and peace were reconfigured. To take the measure, we can compare the climate change we are experiencing today with the one that hit Europe from 1315 onwards. While today's global warming is entirely due to human activity, natural causes led to the so-called "Little Ice Age", a global cooling of Europe's climate by 1° Celsius that lasted until the 19th century. As English climatologist Hubert H. Lamb explains in his 1982 book "Climate, History and the Modern World", the urban consequences were a general southward shift in human, animal and plant populations, with cities that were too cold because they were too far north being abandoned for new ones that were warmer because they were further south. Thus, the Norwegian court left its historic capital at Trondheim (latitude 63.3° N), a city that declined from then on, and moved first to Bergen (latitude 60.3°), then to Oslo (latitude 59, 9° latitude), and finally established its new capital in Copenhagen (55.7° latitude). This shift of almost 7° to the south followed the same southward shift of herring populations from the Norwegian Sea to the North Sea. These migrations, which took place throughout Europe, even within the same kingdom, nonetheless led to widespread social unrest, as much in the Scottish Highlands as in Bohemia. But when these migrations crossed national borders, the consequences were tragic. For example, the Hundred Years' War, which took place in the French territory of Guyenne (today's Nouvelle-Aquitaine region) between

01 | Central Park, Taichung, Taiwan, 2011-2020. Un parco pubblico di 67 ettari. Philippe Rahm archi-tectes, mosbach paysagistes, Ricky Liu & Associates. Per gentile concessione di Philippe Rahm architectes\
Central Park, Taichung, Taiwan, 2011-2020. A public park of 67 hectares. Philippe Rahm architectes, mosbach paysagistes, Ricky Liu & Associates. Courtesy of Philippe Rahm architectes

Per illustrare queste riflessioni, presentiamo di seguito due progetti urbani che abbiamo realizzato negli ultimi anni. Il primo è il Taichung Central Park a Taiwan, un nuovo parco di 67 ettari in un clima tropicale, progettato insieme a Mosbach Paysagistes e Ricky Liu & Associates, completato nel dicembre 2020. Il secondo è il progetto vincitore del concorso internazionale del 2019 a Milano, realizzato con OMA e Laboratorio Permanente, per due aree della città: uno sviluppo urbano di 60 ettari a Farini e un parco di 15 ettari a San Cristoforo.

Climatic Park

Il *masterplan* del Taichung Central Park a Taiwan è stato progettato per migliorare il comfort dei visitatori valorizzando naturalmente alcune aree caratterizzate da microclimi leggermente più freschi, più asciutti o meno inquinati. Grazie a una modellazione digitale, il sito subtropicale caldo e umido è stato mappato in base a tre parametri climatici esistenti: calore, umidità e inquinamento. Questi microclimi sono stati mitigati attraverso una progressiva densificazione vegetale, con la piantumazione di 12.000 alberi, creando diverse zone di *comfort* denominate *Coolia*, *Dryia* e *Clearias*. Tre percorsi principali, *Cool Path* (percorso fresco), *Dry Path* (percorso asciutto) e *Clear Path* (percorso pulito), collegano tutte queste regioni climatiche specifiche, offrendo una varietà di esperienze di camminata: dal percorso ampio, pianeggiante e lineare che attraversa tutte le *Clearias*, al sentiero più asciutto, in salita e sportivo che unisce tutte le *Dryias*.

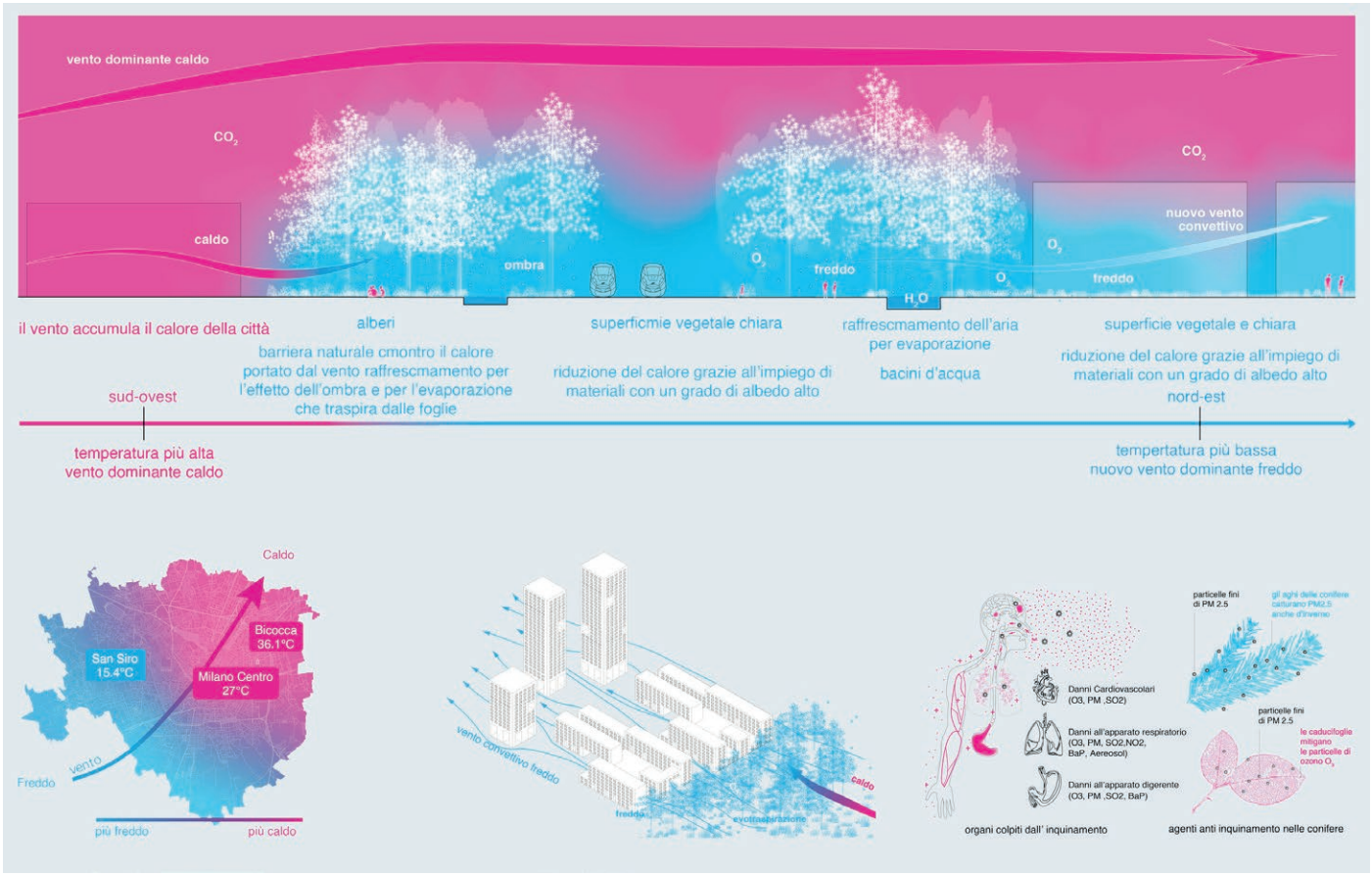
Aerial urbanism

Per definire i principi urbanistici del nuovo quartiere Farini a Milano, abbiamo affrontato tre grandi sfide contemporanee, quali il riscaldamento globale, l'isola di calore urbana e l'inquinamento atmosferico, proponendo una città fresca d'estate, non inquinata e a basso impatto ambientale, ovvero a zero emissioni di carbonio.
Il nostro progetto si basa su due dispositivi ambientali: uno verde e uno blu, che abbiamo chiamato *Limpidarium*, ovvero dispositivi urbani pensati per purificare, rigenerare e migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua.
Il dispositivo verde, chiamato *Limpidarium dell'Aria*, è una grande foresta lineare posta davanti all'intero nuovo quartiere

01 |

02 | Climatic Agents, Milano, Italia, 2019. Un masterplan per il nuovo quartiere Farini di 62 ettari e il parco San Cristoforo di 14 ettari. Philippe Rahm architects con OMA, Laboratorio Permanente e Vogt Landscapes architects

Climatic Agents, Milan, Italy, 2019. A masterplan for the new Farini district of 62 hectares and the San Cristoforo Park of 14 hectares. Philippe Rahm architects with OMA, Laboratorio Permanente and Vogt Landscapes architects



the 16th and 15th centuries, began when the English vineyards stopped producing wine because of the cold in 1315, at the transition from the Little Medieval Optimum (a warm, peaceful climatic period that saw the rise of medieval European civilisation) to the Little Ice Age, which led the English to conquer the Bordeaux vineyards, controlling their territory until 1436, at the cost of a disastrous war with the Kingdom of France. It is worth remembering that from Neolithic times to the 19th century, wine and beer provided more than half the calories needed by human beings, and were their main source of drinking "water". Today's global warming would reverse this trend and, instead of moving 7° southward, cities would have to move 6° northward to regain their original climate. Paris would move to Edinburgh, Lyon would relocate to Düsseldorf and Bordeaux's current climate would be found in Brussels in the year 2100.

The future of cities will certainly be shaped by these three responses, which will be carried out jointly between a radical readaptation of urban and architectural principles to make urban heatwaves liveable, a hopefully rapid transition from fossil fuels to renewable energies, and migrations to more favourable locations, where politics, at national, European and global levels, will have a crucial role to play in avoiding the wars we have already experienced and must, therefore, anticipate and avoid.

To illustrate our argument, we present two urban projects we have designed in recent years. First the Taichung Central Park in Taiwan, a 67-hectare new park in a tropical climate, designed by us in partnership with Mosbach Paysagistes and Ricky Liu & Associates. It was completed in December 2020. The second project is the winning entry of 2019 we have designed with OMA and Laboratorio Permanente for the international competition in Milan, Italy, for two sites, a 60-hectare urban development of the city in Farini and the 15-hectare park in San Cristoforo.

Climatic Park

The master plan of Taichung Park, Taiwan, is designed to improve the comfort of visitors by naturally enhancing some areas with existing slightly cooler, drier or less polluted microclimate. Using computer modelling, we mapped the hot and humid subtropical site according to 3 existing climate parameters, namely heat, humidity and pollution. These microclimates were mitigated by a progressive densification of 12,000 tree plantations to create different comfort regions called Coolia, Dryia, Clearias. Three main paths, cool (the Cool Path), dry (the Dry Path), and clear (the Clear Path), connect all these specific climatic regions, offering a variety of walks, from the flat, wide, clear path connecting all the Clearias to the dry, hilltop, more athletic path connecting all the Dryias.

Aerial urbanism

To establish the urban principles of the new Farini district in Milan, we respond to the three contemporary challenges (global warming, urban heat island, air pollution) that affect the city today, by proposing a cool, unpolluted city in summer, minimising its impact on global warming, that is to say a carbon neutral city.

Our project is based on two environmental devices, precisely one creating a green environmental zone, the other blue, which we call *Limpidarium*, that

Farini. Serve a raffreddare i venti caldi provenienti da sud-ovest e a purificare l'aria dalle polveri sottili PM2.5. Il nome stesso richiama l'idea di "rendere limpida" l'aria. L'intero quartiere è progettato attorno allo spessore ambientale del *Limpidarium*, posizionato a sud-ovest. Oltre a essere un parco aperto al tempo libero, il suo ruolo è quello di filtro naturale contro il calore e l'inquinamento trasportati dal vento dominante che soffia su Milano da sud-ovest. Grazie agli alberi e alle fontane, l'evaporazione dell'acqua contribuisce a creare ombra e frescura, abbassando la temperatura dell'aria. Per effetto della convezione, quest'aria più fresca e pulita penetra nel quartiere e ne espelle il calore e l'inquinamento. Gli edifici sono disposti parallelamente alla direzione del vento per favorire la circolazione dell'aria da sud verso nord.

Il secondo dispositivo ambientale, il *Limpidarium d'Acqua*, è blu. Si tratta di un lungo sistema lineare situato a San Cristoforo, dedicato alla depurazione delle acque sotterranee provenienti da nord, che dà forma a un paesaggio che si trasforma gradualmente da uno stagno per la fauna a una piscina naturale per le persone. Anche in questo caso, il nome richiama l'idea di "rendere limpida" l'acqua. Il progetto per San Cristoforo prevede un parco pensato per accogliere sia esseri umani che animali, con una funzione ecologica fondamentale: quella di filtro naturale per la pulizia delle acque sotterranee che scorrono da nord-ovest verso sud-est. L'acqua viene dapprima filtrata meccanicamente, poi depurata biologicamente fino a diventare balneabile in una piscina naturale. A quel punto, l'acqua prosegue il suo corso verso sud-est, rigenerata e restituita al territorio in forma pulita.

is to say, urban environmental devices, cleaning, clearing, regenerating the air and water.

The green environmental device, *Aria*'s *Limpidarium*, is a large linear forest in front of the whole new Farini district. It can cool the hot winds coming from the southwest and purify the air from fine particles PM2.5. Its name means "to make clear" the air. The new Farini district is based on the environmental thickness of the *Limpidarium*, to the southwest. The role of the *Limpidarium*, in addition to being a park open to leisure activities, is to act as a filter against the excess heat and pollution brought by the prevailing wind that blows over Milan from the southwest. It then serves to produce shade and coolness, thanks to trees and fountains, whose water evaporation lowers the air temperature. By convection, this new, cooler and less polluted air will blow into the new neighbourhood and drive out the heat and pollution. The new buildings are placed parallel to this wind to allow it to flow freely through the new neighbourhood from south to north.

The second environmental device, the *Limpidarium d'Acqua*, is blue. It is a long linear system in San Cristoforo for the purification of underground water coming from the north, creating a landscape that goes from a pond suitable for animals to a natural pool suitable for humans. Its name means "to make clear" the water. Our project for San Cristoforo is to create a park that welcomes both humans and non-humans, but whose function is also that of constituting a filter to clean the groundwater coming from the northwest and flowing to the southeast. This park naturally cleans the underground runoff water by first filtering it mechanically, and then regenerating it biologically, until it becomes a natural swimming pool in which one can swim. The water then continues its course towards the South-East, thus cleaned and made clean for the territory.

PUÒ *LAUDATO SI'* ISPIRARE UNA RIVOLUZIONE DELLA SUFFICIENZA IN ARCHITETTURA?

David Ness, https://orcid.org/0000-0001-9791-4295 david.ness@unisa.edu.au
Centre for Sustainable Infrastructure and Resource Management, University of South Australia, Australia

Abstract. Si potrebbe sostenere che l'enciclica papale del 2015 *Laudato Si'*, dedicata alla cura della casa comune, risulti oggi ancora più rilevante come strumento per contrastare l'iperconsumo sfrenato e il suo impatto sui cambiamenti climatici e sulle disuguaglianze, anche nel settore edilizio. Le misure sinora adottate nel settore per contenere le emissioni si sono dimostrate inefficaci. I benefici derivanti da efficienza energetica, *clean tech* e fonti rinnovabili sono stati superati dall'aumento della superficie costruita, il cui raddoppio è previsto entro il 2050. Oltre a costituire, uno dei temi cardine dell'enciclica, il concetto di "sobrietà" (*sufficiency*), è stato formalmente introdotto dal IPCC nel 2022 come strategia per ottenere tagli incisivi e tempestivi alle emissioni. Basato su pratiche e misure volte a contenere alla fonte la domanda di risorse garantendo al contempo il benessere di tutti, il concetto è stato posto al centro del dibattito solo recentemente. Il rapporto *Sufficiency and the Built Environment*, presentato alla COP29, potrebbe avere una risonanza significativa sull'architettura e l'edilizia. Esplorando tali implicazioni, l'articolo esamina l'ipotesi secondo cui *Laudato Si'* sia in grado di ispirare una rivoluzione della sufficienza, che integri innovazione ed un approccio olistico per affrontare le sfide globali.

Parole chiave: Consumo di carbonio; Consumo di risorse; Disuguaglianza; Gestione della domanda; Responsabilità; Patrimonio edilizio.

Introduzione

A una prima lettura, l'enciclica papale *Laudato Si'* (Francesco, 2015) potrebbe apparire di scarso rilievo per l'architettura. Uno sguardo più attento, tuttavia, rivela un legame profondo con la necessità di promuovere una cultura della sobrietà[1] per prendersi cura della "nostra casa comune". L'enciclica denuncia l'erronea convinzione che le risorse della Terra siano illimitate, sottolineando come la crescita economica e il progresso tecnologico, spuri, non siano sufficienti ad affrontare e risolvere le sfide globali, inclusa la povertà. Un *paradigma tecnocratico* e una prospettiva fortemente sbilanciata in senso materialistico hanno non solo condotto a una sistematica indifferenza verso l'ambiente, ma anche minato il valore della stessa vita umana (Longbottom, 2015).

L'enciclica potrebbe costituire quindi un valido avvertimento per tecnici e architetti che ripongono totale – e forse cieca – fiducia nelle sole *clean tech* per risolvere le sfide globali.

L'incisività dell'enciclica risiede nel suo approccio ampio e sistemico, che integra ecologia ambientale, economica e sociale (s137). Pur dando priorità alla lotta contro la povertà estrema, si denuncia «il livello scandaloso di consumo nelle società privilegiate» (s172). Non solo mette in luce il declino della qualità della vita umana, ma anche l'abuso della nostra casa comune – e, con essa, del bene comune.

Questo contributo intende esplorare l'ipotesi secondo cui *Laudato Si'* non solo risulti pertinente per il campo dell'architettura, ma possa anche costituire fonte d'ispirazione per una rivoluzione della sufficienza fondata su approcci più innovativi e sistemici alle sfide globali. Dopo un esame dei riferimenti espliciti all'architettura presenti nell'enciclica, si delinea la crisi dell'architettura in *overshoot* e la rilevanza dei principi della sufficienza come cifra fondante di un cambiamento radicale. La sessione della COP29 dedicata alla *sufficiency revolution* nel settore edilizio viene qui presentata come un passaggio cruciale nella direzione di un auspicabile cambiamento strutturale. Sulla base del relativo rapporto, si evidenzieranno i principali risultati e si analizzerà, in dialogo con *Laudato Si'*, il potenziale rivoluzionario di questo approccio nell'ambito architettonico.

Laudato Si' e Architettura

Il Capitolo 3 dell'enciclica richiama l'attenzione sulle radici umane della crisi ecologica.

In questo contesto – e in altri passaggi – l'architettura non è esente da critiche, in particolare nei confronti delle «megastrut-

LAUDATO SI': CAN IT INSPIRE A SUFFICIENCY REVOLUTION IN ARCHITECTURE?

Abstract. Arguably, the 2015 papal encyclical letter *Laudato Si'*, on care for our common home, is particularly relevant nowadays as a way to combat rampant overconsumption and its impact on climate change and inequity – including within the building sector. Thus far, measures adopted by the sector to contain emissions have proved ineffective. Any gains via energy efficiency, 'clean tech' and renewables have been outpaced by growth in built floor area, which is projected to double by 2050. In addition to being a major theme of the encyclical, the concept of 'sobriety' (sufficiency) was introduced by the IPCC in 2022 as a way to achieve the necessary rapid and deep cuts in emissions. Involving practices and measures that avoid demand for resources while enabling well-being for all, the concept has only recently come to the fore. A milestone report on Sufficiency and the Built Environment was launched at COP29, with a potentially major impact upon architecture and building. While exploring these implications, the article examines the proposition that *Laudato Si'* may inspire a sufficiency revolution embracing more innovative and holistic ways of tackling global challenges.

Keywords: Consumption carbon; Resource consumption; Inequity; Demand management; Stewardship; Building stock.

Introduction

At first glance, the papal encyclical *Laudato Si'* (Francis, 2015) may be thought to have little relevance to architecture. A closer look, though, reveals that there is a strong connection with the need for sobriety[1] to "care for our common home". It highlights the mistaken belief that the earth's resources are infinite, and that economic growth and technology alone cannot solve global challenges including poverty. A 'technocratic paradigm' and purely materialistic view of reality has not only led to disregard for the environment, but also undermined the worth of human life (Longbottom, 2015). This is an important message for technocrats and architects who rely upon 'clean tech' to solve global challenges.

A strength of the encyclical letter is its breadth and holism, encompassing environmental, economic and social ecology (s137). While prioritising extreme poverty, it lambasts «the scandalous level of consumption in privileged societies» (s172). Not only does it highlight the decline in the quality of human life, but also the abuse of our common home, our common good.

This paper examines the proposition that *Laudato Si'* is not only relevant to architecture, but may also inspire a

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17671

01 | Barangaroo, Sydney (per gentile concessione di Barangaroo Delivery Authority)
Barangaroo, Sydney (courtesy Barangaroo Delivery Authority)

| 01

ture… e del flusso costante di nuovi prodotti» (s113) e dello «sviluppo ipertrofico, dissipativo e consumista» (s109).
In risposta al "grido della terra" e al "grido dei poveri", *Laudato Si'* invoca una riduzione del ritmo di produzione e consumo, così come un contenimento della crescita: «è giunto il momento di accettare una diminuzione della crescita in alcune parti del mondo per mobilitare risorse a favore di altre aree che possano così realizzare una crescita sana» (s193). Inoltre, le società tecnologicamente avanzate dovrebbero promuovere stili di vita più sobri, ridurre il proprio consumo energetico e migliorare l'efficienza energetica (s193).
Vengono proposti nuovi modelli di progresso, tra cui la necessità di ridefinire il concetto stesso di progresso (s194). La sufficienza negli stili di vita viene presentata come "liberatoria" e meritevole di promozione. Un tale ripensamento di prospettiva si rivela significativamente coerente con le riflessioni più recenti nel campo dell'architettura in tema di cambiamento climatico, iperconsumo e disuguaglianze sistemiche.

L'architettura in overshoot
Si potrebbe sostenere che il settore dell'architettura sia, in un certo senso, ossessionato dalla "decarbonizzazione", e dalla convinzione diffusa secondo cui questa strategia permetterà di continuare a sostenere una crescente domanda di risorse materiali (Ness, 2023).
Lo dimostra, a mero titolo esemplificativo – ma con estrema efficacia – il caso del progetto di sviluppo urbano di Barangaroo a Sydney che, nonostante abbia una superficie lorda di circa 700.000 metri quadrati, viene presentato come uno dei progetti più "green" del suo genere a livello globale (Fig. 1).

Con l'affermazione del concetto di "carbonio netto zero", la nozione di "neutralità climatica" sta plasmando in misura crescente il discorso architettonico sulla crisi climatica.
Secondo Barber (2024), si tratta di «un concetto consolatorio quanto sfuggente», una «finzione evidente» e persino «una trappola pericolosa». Barber sottolinea che la nozione, nella sua configurazione attuale, «non implica una riduzione assoluta delle emissioni», bensì si configura come una procedura contabile che consente di continuare a emettere nel presente, confidando in innovazioni tecnologiche future. Sarebbe questa, essenzialmente la cifra dell'architettura in *overshoot*, ma appare necessario ricordare che siamo già avviati a superare il limite di 1,5° Celsius di riscaldamento globale entro il 2050. Barber aggiunge: «insieme, *carbon neutrality* e *overshoot* costituiscono una struttura di permesso tacito, una fede quasi mistica nel fatto che il problema sia 'risolvibile'» e che «il nostro attuale modello progettuale e costruttivo ad alta intensità di carbonio possa continuare indisturbato» (Barber 2024).
In sostanza, "il carbonio netto zero è diventato la nuova *best practice*".
Così, nel mezzo del più grande "boom edilizio" della storia dell'umanità, il settore continua ad affermare di poter raggiungere emissioni nette pari a zero entro il 2050 attraverso decarbo-

'sufficiency revolution' that embraces more innovative and holistic ways of tackling global challenges. After first identifying references to architecture in the encyclical, it highlights the crisis of 'architecture in the overshoot' and the potential of sufficiency principles to underpin a response. A COP29 session on the 'sufficiency revolution' in building is seen as a major step forward. It highlights the key findings of the associated report and, with *Laudato Si'*, examines the potential to inspire a revolution in architecture.

***Laudato Si'* and architecture**
Chapter 3 of the encyclical draws attention to the human roots of the ecological crisis. Here and elsewhere, architecture does not escape criticism, especially «megastructures…and the constant flow of new products» (s113) and «super-development of a wasteful and consumerist kind» (s109).
In response to the "cry of the earth" and the "cry of the poor", *Laudato Si'* calls for reducing the pace of production and consumption, and containing growth: «the time has come to accept decreased growth in some parts of the world to provide resources for other places to experience healthy growth» (s193). Moreover, technologically advanced societies should encourage more sober lifestyles, while reducing their energy consumption and improving energy efficiency (s193).
New models of progress are advocated, including the need to redefine our notion of progress (s194). Sufficiency in lifestyles is seen as "liberating" and should be promoted. Such thinking seems remarkably consistent with recent architectural writing on confronting climate change, overconsumption, and inequality.

'Architecture in the overshoot'
Arguably, the industry is fixated with 'decarbonisation', with a widespread belief that it will enable the sector to continue its appetite for growth in the consumption of material resources (Ness, 2023). This is illustrated by the case of Sydney's 'Barangaroo urban development' which, despite the gross floor area of around 700,000 square metres, is touted as one of the greenest projects of its kind anywhere in the world (Fig. 1).
With the notion of 'net-zero carbon', 'climate neutrality' increasingly shapes climate discourse in architecture. According to Barber (2024), this is a «wishful and elusive concept», an «obvious fiction» and even «a dangerous trap». He points out that it «does not refer to an absolute reduction in emissions», but is rather an accounting procedure that allows emissions to continue in the present on the promise of future technological innovations. He describes this as «architecture in the overshoot», as we are already on track to exceed the limit of 1.5° Celsius warming by 2050. Barber adds: «Together, net zero and overshoot constitute a permission structure *extraordinaire*, an almost mystical faith that the problem is 'solvable'» and that «our current carbon-heavy design and construction…can carry on, undisturbed». In essence, "net-zero has become best practice".
Thus, in the midst of the largest 'building binge' in human history, the industry maintains it can attain 'net-zero' emissions by 2050 via decarbonisation, energy efficiency, and bio-materials (Himes, 2021). This overlooks the strong message of the IPCC (2022) that «*aggressive* and *immediate* mitigation policies with rapid and deep

nizzazione, efficienza energetica e bio-materiali (Himes, 2021). Una prospettiva che ignora l'esplicito messaggio dell'IPCC (2022), secondo cui "sono necessarie politiche di mitigazione immediate e incisive, con cambiamenti rapidi e profondi nella domanda", per limitare il riscaldamento globale a 1,5°.

L'avvento della sufficienza

La sufficienza non è un concetto del tutto nuovo e esiste una vasta letteratura sui principi della sufficienza (Princen, 2003). La Thailandia ha adottato la moderazione e la ragionevolezza nella sua "politica economica della sufficienza" per molti anni, mentre la Francia è stata il primo paese a sancire la sufficienza energetica nella Legge interna sulla Transizione Energetica del 2015.

Il concetto ha guadagnato rinnovata popolarità come mezzo per mitigare il cambiamento climatico. Pur abbracciando anche la necessità di equità nell'uso delle risorse, la sufficienza è stata introdotta dall'IPCC (2022, SPM-41) come «un complesso di misure e pratiche quotidiane che assorbono la domanda di energia, materiali, terra, acqua garantendo al contempo il benessere per tutti all'interno dei limiti planetari».

L'IPCC ha sollecitato l'introduzione rapida di politiche di sufficienza per ottenere riduzioni significative fino al 17% delle emissioni di gas serra (GHG). In combinazione con nuovi metodi di erogazione dei servizi finali, le emissioni in settori come l'edilizia potrebbero essere ridotte del 40-70% entro il 2050 (IPCC, 2023).

Sebbene Leoni (2021, 23) affermi che l'economia circolare «guiderà il cambiamento verso la sostenibilità», l'IPCC (2022, 5-3) ha sollevato alcuni dubbi sui benefici per la sostenibilità e la mitigazione del cambiamento climatico. Come notato da Allwood (2014, 446), «se la domanda cresce, il cerchio non può rimanere chiuso, e potrebbe essere una priorità chiave intervenire sul ritmo con cui vengono richiesti nuovi materiali».

Pertanto, la sufficienza dovrebbe essere integrata alla circolarità per raggiungere la decarbonizzazione all'interno di un quadro complessivo di Sufficienza, Efficienza e Energie Rinnovabili (Saheb, 2021).

Tuttavia, la sufficienza non mira esclusivamente alla riduzione delle emissioni, ma a garantire uno standard di vita dignitoso per tutti, basato sui bisogni piuttosto che sui desideri, pur rimanendo all'interno dei limiti planetari. Con un focus sulla riduzione dell'uso eccessivo delle risorse da parte dei privilegiati, il concetto presenta una marcata componente di giustizia sociale ed equità – proponendo un grado di enfasi assimilabile tra *Laudato Si'* ed il World Sufficiency Lab[2].

Verso la sufficienza dell'ambiente costruito

Il concetto ha recentemente guadagnato forza come mezzo per ridurre le crescenti emissioni crescenti nel settore edilizio, responsabile di quasi il 40% delle emissioni globali. Sebbene Creutzig *et al*. (2021) abbiano evidenziato come le soluzioni *demand-side* per la mitigazione del cambiamento climatico siano correlate a livelli elevati di benessere, la sufficienza deve ancora affrontare la sfida di ri-plasmare convinzioni radicate e modelli di consumo consolidati all'interno della società e dell'industria.

La sostenibilità viene spesso equiparata con l'innovazione tecnologica e una maggiore efficienza materiale ed economica, pur mantenendo la crescita (Rees, 2009).

changes in demand» are necessary to limit global warning to 1.5°C.

The advent of sufficiency

Sufficiency is not a new concept and there is a body of literature on sufficiency principles (Princen, 2003). Thailand has embraced moderation and reasonableness in its 'sufficiency economy policy' for many years, while France was the first country to enshrine energy sufficiency in its 2015 Energy Transition Bill.

The concept has gained a resurgence as a means of mitigating climate change. While also embracing the need for fairness in resource use, sufficiency was introduced by the IPCC (2022, SPM-41) as «a series of measures and daily practices that avoid the demand for energy, materials, land, water while delivering well-being for all within planetary boundaries». The IPCC urged the rapid introduction of sufficiency policies to achieve dramatic reductions of up to 17% in greenhouse gas (GHG) emissions. When combined with new ways of end-use service provision, emissions in sectors such as buildings could be reduced by 40-70% by 2050 (IPCC, 2023, 28-29).

Although Leoni (2021, 23) claimed that the circular economy will «drive change towards sustainability», the IPCC (2022, 5-3) doubted the benefits for sustainability and climate mitigation. As Allwood (2014, 446) noted, «if demand is growing, the circle cannot remain closed, and it may be a more important priority to reduce the rate at which new material is required». Thus, sufficiency should be paired with circularity to achieve decarbonisation within a Sufficiency, Efficiency and Renewables framework (Saheb, 2021).

However, sufficiency is not just about cutting emissions. It also seeks to guarantee a decent standard of living for all, based upon needs rather than wants, while remaining within planetary limits. With a focus upon reducing excessive use of resources by the rich, the concept has a strong social justice and equity component – reflecting a similar emphasis by *Laudato Si'* and the World Sufficiency Lab[2].

Towards sufficiency in the built environment

The concept has recently gained traction as a means of cutting spiralling emissions in the built environment, which is responsible for almost 40% of global emissions. Although Creutzig *et al.* (2021) found that demand-side solutions for climate mitigation are consistent with high levels of well-being, sufficiency still faces the challenge of shifting entrenched beliefs and consumption patterns within society and industry. Sustainability is equated with technological innovation and greater material and economic efficiency, while maintaining growth (Rees, 2009).

Despite this, the Global ABC (2022) warned that any gains via energy efficiency and renewables are surpassed by growth in floor area. The Buildings Breakthrough 2023 (IEA, 2023) committed to doubling energy efficiency and tripling renewables. Arguably, such policies were 'more of the same', and unsurprisingly have proven to be ineffective.

Clearly, the main causal problem of growth in built floor area and resource consumption must be addressed. This not only lies at the root of increasing GHG emissions, but also of gross disparity in 'consumption emissions' – especially those 'embodied' in con-

02 | Hemakcheat Theatre, Phnom Penh (foto di David Ness)
Hemakcheat Theatre, Phnom Penh (photo by David Ness)

Nonostante ciò, il Global ABC (2022) ha avvertito che i guadagni derivanti dall'efficienza energetica e dalle rinnovabili sono sostanzialmente assorbiti dalla crescita della superficie costruita. Il *Buildings Breakthrough 2023* (IEA, 2023) si è impegnato a raddoppiare l'efficienza energetica e a triplicare le energie rinnovabili. Si potrebbe però argomentare che queste politiche siano state "un rinforzo dello stesso approccio", e che – non sorprendentemente – si sono rivelate inefficaci proprio per questa ragione.

Chiaramente, il nucleo del problema dell'aumento della superficie costruita e del consumo di risorse deve essere affrontato adeguatamente. Questo non solo è alla radice dell'aumento delle emissioni di gas serra (GHG), ma anche della grave disparità nelle "emissioni da consumo" – specialmente quelle "incorporate" nella costruzione.

L'1% più ricco è responsabile di più del doppio della quota combinata del 50% più povero, mentre le società impoverite sono disperatamente bisognose di riparo, infrastrutture e servizi. Il paradosso è chiaramente rappresentato dall'ex Teatro Hemakcheat, Phnom Penh, l'architettura "brutalista" ora casa di marginalizzati e senzatetto che vivono nell'oscurità e nella miseria (Fig. 2).

Per raggiungere l'equità globale, l'1% più ricco dovrebbe ridurre le proprie emissioni da consumo di un drastico 97%, mentre al 50% più povero dovrebbe essere garantita la possibilità di aumentare i propri livelli attuali di circa tre volte per soddisfare i propri bisogni minimi (UNEP, 2020, xxv; Oxfam, 2023).

02 |

COP29: una pietra miliare nelle politiche costruttive

Come Richmond ha evidenziato (Architecture 2030, 2024) «La nostra equazione delle emissioni ha due componenti: quanto bene e in che quantità costruiamo. Concentrandoci solo sul primo, lasciamo metà della soluzione sul tavolo».

In questo contesto, un importante rapporto sulla Sufficienza e l'Ambiente Edilizio (Global ABC, 2024a) è stato rilasciato durante il COP29, nell'ambito di una sessione sulla 'Rivoluzione della Sufficienza'. Seguito da un Webinar esplicativo[3] (Global ABC, 2024b), l'evento rappresenta un importante passo in avanti.

Questa iniziativa globale ha sottolineato la necessità di contenere e riequilibrare i modelli di crescita edilizia e il consumo di risorse ad esso associato, evidenziando che un principio di *Sufficiency first* debba essere integrato in tutte le politiche per la decarbonizzazione edilizia. Di conseguenza, la necessità di costruire nuovi edifici dovrebbe essere motivata prima che un progetto prosegua, prendendo in considerazione altre alternative. Questo limiterebbe il consumo di risorse e il "carbonio iniziale" 'incorporato' nella costruzione degli edifici, che potrebbe

struction. The richest 1% account for more than twice the combined share of the poorest 50%, while impoverished societies are in desperate need of shelter, infrastructure, and services. This is shown by the former Hemakcheat Theatre, Phnom Penh, acclaimed 'brutalist' architecture now home to squatters living in darkness and squalor (Fig. 2).

For global equity, the wealthiest 1% need to 'shrink' their consumption emissions by a dramatic 97%, while the poorest 50% increase their current levels by about three-fold to meet basic needs (UNEP, 2020, xxv; Oxfam, 2023).

COP29: A significant milestone in building policy

As highlighted by Richmond (Architecture 2030, 2024), «Our emissions equation has two components: how well we build and how much we build. By focusing solely on the former, we are leaving half the solution on the table». In this regard, a major report on Sufficiency and the Built Environment (Global ABC, 2024a) was launched at COP29 during a session on 'The Sufficiency Revolution'. Followed by an explanatory Webinar[3] (Global ABC, 2024b), the event marks a major step forward.

This global initiative emphasised the need to constrain and rebalance patterns of building growth and associated resource consumption, emphasising that a 'Sufficiency First' principle must be integrated into all policies for building decarbonisation. Accordingly, the need to build new should be justified before a project proceeds, with other alternatives being considered. This would constrain resource consumption and the 'upfront carbon' 'embodied' in the construction

rappresentare circa il 70% del carbonio totale per l'intera durata della vita dell'edificio.
A supporto di questo approccio chiave, altre raccomandazioni includono la necessità di rivedere le proiezioni di crescita per il settore, che attualmente prevedono che, fino al 2060, sarebbe necessario costruire l'equivalente di un'altra Parigi ogni 5 giorni, o un'altra New York City ogni 34 giorni. Questo comporterebbe un raddoppio dell'estrazione delle risorse e della superficie costruita entro il 2060 (Leoni, 2021). Tuttavia, queste proiezioni assumono un aumento lineare dell'area per persona, alimentato da un aumento dell'affluenza – una reiterazione quantomeno discutibile degli attuali modelli di crescita, già eccessiva.
Il rapporto (Global ABC, 2024a) ha inoltre introdotto il concetto di 'budget di carbonio' pre-costituito, allocato secondo le emissioni storiche e le necessità (Habert *et al*., 2020; Horup *et al*., 2022). Il carbonio iniziale di un potenziale progetto dovrebbe essere valutato attentamente già nella fase di approvazione, in relazione al budget di carbonio consentito. Questo potrebbe "applicare un freno precoce" a progetti eccessivi o non necessari, dando ampia priorità nel budget in base al 'valore d'uso' (Georgescu-Roegen, 1973). Ad esempio, l'edilizia sociale e i progetti comunitari dovrebbero guadagnare priorità rispetto a quelli a scopo commerciale.
Allo stesso modo, *Laudato Si'* (s185) invoca il dialogo e il confronto comunitario nelle decisioni, soprattutto per un progetto che attinga alle risorse naturali: "Cosa realizzerà? Perché? Dove? Quando? Come? Per chi?", sollecitando e preferendo alternative di rischio e beneficio ogniqualvolta possibile.

L'importanza chiave della fase "preliminare"

Sebbene sia ampiamente riconosciuto che la migliore opportunità per contrastare e ridurre le emissioni di carbonio e il consumo di risorse risieda nella fase iniziale o "preliminare" di progetto, come già sottolineato dal HM Treasury (2013), l'importanza di questa fase nella trasformazione dell'architettura e della costruzione non è stata ancora oggetto di una riflessione sufficientemente estesa.
Tuttavia, l'idea di mettere in discussione la necessità di costruire in primo luogo non è affatto nuova. Come ha osservato Walker (2021), «non dovremmo costruire un edificio a meno che non possa essere dimostrato che esiste un imperativo assoluto per la sua costruzione (il test della necessità)».
Un simile approccio è implementato da Arup (2022) nel suo *Circular Buildings Toolkit*, che pone come prima domanda strategica "Rifiutare la costruzione di nuovi edifici non necessari?" sotto il primo passo della Definizione Strategica: Non costruire nulla. Questo implica una "profonda e attenta analisi del brief del progetto rispetto alle necessità del cliente", valutando se un edificio fisico sia realmente necessario per soddisfare i requisiti previsti e, nel caso, esaminando se un edificio già esistente possa essere utilizzato per soddisfarli.
Analogamente, il RIBA Plan of Work (2020) prende l'avvio con la Fase 0 'Definizione Strategica', con l'obiettivo primario di «verificare che un progetto di costruzione, o altro, sia il miglior mezzo per raggiungere i requisiti del cliente».
Inoltre, lo standard RICS (2024) per la valutazione del carbonio nell'intero ciclo di vita evidenzia il "carbonio iniziale" nella Fase A.

of buildings, which could amount to about 70% of whole life carbon.
In support of this key message, other recommendations included the need to review high growth projections for the industry, which forecast that the equivalent of another Paris would be required every 5 days, or of another New York City every 34 days, until 2060. This would envisage a two-fold increase in resource extraction and built floor area by 2060 (Leoni, 2021). However, these projections assume a linear increase of per capita area driven by increasing affluence – a highly questionable continuation of current patterns of excessive growth.
The report (Global ABC, 2024a) also introduced the notion of top-down 'carbon budgets', allocated according to historical emissions and needs (Habert *et al*., 2020; Horup *et al*., 2022). The upfront carbon of a potential project should be broadly assessed at the development approval phase in relation to the allowable carbon budget. This can 'apply an early brake' on excessive or unnecessary projects, with the budget being prioritised according to 'use-value' (Georgescu-Roegen, 1973). For example, social housing and community projects should be prioritised over those for commercial gain.
Similarly, *Laudato Si'* (s185) calls for community dialogue and questioning in decision-making, especially for a project that will consume natural resources: "What will it accomplish? Why? Where? When? How? For whom?", while "risk and benefits for alternatives" should be considered.

The importance of the 'upfront' phase

While it is well recognised that the greatest opportunity for avoiding and reducing carbon and resources lies in the early inception or 'upfront' phase, as first emphasised by HM Treasury (2013), the importance of this phase in transforming architecture and construction has not been seriously examined until now.
However, the notion of questioning the need to build is not new. As Walker (2021) noted, «we should not be constructing a building unless it can be demonstrated that there is an absolute imperative for it to be built (the necessity test)».
Such thinking is reflected by Arup (2022) in its 'Circular Buildings Toolkit', which firstly poses the strategic question "Refuse unnecessary new construction?" under the Strategic Definition's first step: 'Build nothing'. This involves "deep and thoughtful interrogation of the project brief against the client's needs", reassessing if a physical building is necessary for the envisioned requirements and, if so, assessing if an existing building can be used to meet them.
Similarly, the RIBA Plan of Work (2020) begins with Stage 0 'Strategic Definition', with the primary goal being «to ratify that a construction project, or otherwise, is the best means of achieving the client requirements». In addition, the RICS (2024) standard on whole life carbon assessment highlights 'upfront carbon' in Stage A.
While such approaches are a step forward, the potential of this 'pre-architecture' phase, including the strategic urban planning context, demands closer examination.

Towards a revolution in architecture

Inspired by the key messages of *Laudato Si'* and the Global ABC (2024a) report, key strategies for pursuing a

Sebbene tali approcci rappresentino un consistente passo in avanti, il potenziale di questa fase "pre-architettonica", compreso il contesto della pianificazione urbana strategica, richiede un'analisi più approfondita.

Verso una rivoluzione in architettura

Ispirandosi ai messaggi chiave di *Laudato Si'* e al rapporto *Global ABC* (2024a), si esploreranno ora le principali strategie per perseguire una trasformazione radicale nell'architettura.

In primo luogo, sarà necessario adottare una prospettiva ampia, sistemica e sistematica, considerando il contesto strategico che può essere delineato ben prima che gli architetti entrino in scena.

Come osservato da Wiedenhofer *et al.* (2023), «la ricerca e l'azione si concentrano principalmente su livelli micro e meso" che coinvolgono prodotti, materiali e aziende, mentre le "implicazioni a livello macro, a livello di sistema…restano sottovalutate». Applicare i principi dell'*open building* potrebbe fornire un'indicazione metodologica utile, che faciliti la sistematizzazione dell'ambiente costruito come un complesso di sottosistemi distintamente stratificati (Lifschutz, 2017).

Impostare il contesto: il contesto della pianificazione urbana

Una città che centri le proprie politiche edilizie e urbanistiche sul principio della "sufficiency first" dovrà assumersi la responsabilità di accertare, monitorare e documentare il proprio budget di carbonio, tenendo conto non solo delle emissioni territoriali ma anche delle sue emissioni *GHG scope 3*, incluse quelle di carbonio incorporato (Horup *et al*., 2024).

Le proposte di nuove costruzioni dovranno essere valutate in fase preliminare in relazione al budget di carbonio complessivo allocato, dando priorità alle opere con un maggiore "valore d'uso". La mappatura e monitoraggio dell'utilizzo delle risorse esistenti e dell'edilizia dovrà favorire il riutilizzo adattivo, la condivisione delle risorse esistenti e un utilizzo più efficiente degli spazi vuoti, preferendolo alla costruzione di nuovi edifici. Pur in un'ottica orientata alla drastica riduzione delle emissioni, la gestione del patrimonio edilizio esistente dovrà essere soggetta a supervisione rigorosa e adattato, ogniqualvolta possibile, alle nuove esigenze di servizio. Tali strategie non solo minimizzano la produzione di carbonio del nuovo costruito, ma ridistribuiscono risorse verso chi ne ha maggiore necessità.

Limitando i nuovi progetti di design e in linea con i messaggi chiave di *Laudato Si'*, questo approccio potrebbe aprire ottime opportunità per rigenerare ciò che già possediamo.

"Sulla cura della nostra casa comune"

Come previsto da Kohler e Hassler (2002), «i cambiamenti a lungo termine nella domanda di edifici in Europa centrale obbligheranno le professioni edilizie a spostare il proprio focus dalla costruzione di nuovi edifici alla manutenzione e alla ristrutturazione. […] La conoscenza del patrimonio edilizio sarà quindi di fondamentale importanza».

Un nuovo ruolo potrebbe attendere gli architetti come "custodi dell'ambiente costruito" Leoni (2021, 26) ha osservato che «c'è ampio margine di azione senza dover consumare ulteriore suolo, semplicemente rinnovando e migliorando l'efficienza del patrimonio edilizio esistente». Secondo la Commissione Europea (2020), l'85-95% degli edifici odierni sarà ancora in uso nel 2050.

radical transformation in architecture are now explored. This begins by taking a broad, high level 'systems' view, while considering the strategic context, which may be established before architects enter the scene.

As Wiedenhofer *et al.* (2023) observed, «research and action are mainly focused on micro-to meso-levels» involving products, materials and companies, while «macro-level system-wide implications…remain under appreciated». A useful methodology is to apply 'open building' principles that facilitate systematisation of the built environment as a set of distinctly layered sub-systems (Lifschutz, 2017).

Setting the scene: the urban planning context

A city that puts 'sufficiency first' in its building and planning policies will take responsibility for ascertaining, monitoring and reporting on its carbon budget, taking into account not only its territorial but also its 'scope 3' GHG emissions, including embodied carbon (Horup *et al*., 2024). New-build proposals will be assessed at an early stage in relation to the overall carbon budget, prioritising those with a higher 'use value'. It will map and monitor the utilisation of existing assets and housing, and foster adaptive reuse, sharing of existing assets, and improved utilisation of vacant space in preference to new builds. While seeking to dramatically cut its emissions, it will oversee the stewardship of existing building stock, adapting this to new service demands. Such strategies not only minimise the generation of carbon by new construction, but also allocate resources to those most in need. While constraining new design projects, and consistently with key messages of *Laudato Si',* this approach may open up promising opportunities to regenerate what we already have.

'On care for our common home'

As Kohler and Hassler (2002, 236) forecast, «long-term changes in building demand in central Europe will oblige the building professions to shift their focus from new construction to maintenance and refurbishment. […] Knowledge of the building stock will, therefore, be of great importance». A new role may await architects as 'stewards of the built environment'.

Leoni (2021, 26) noted that «there is plenty of scope for action without having to consume additional land, simply by renovating and improving the efficiency of the existing building stock». According to the EC (2020), 85-95% of today's buildings will still be in use in 2050.

Increased recognition of the principles of total or 'strategic asset management' enables closer alignment of assets with service needs, and improved utilisation of assets (including sharing), besides identifying assets suitable for conversion during refurbishment.

To reduce throughput and demand for new resources, 'open building' principles can enable separation of fixed and moveable components (Zuidema, 2015). The fixed structure can be classed as real estate, while moveable 'infill' can be provided as a service. This is an extension of the notion of 'product stewardship', whereby producers retain stewardship of their products and provide these as a service[4] (Leoni, 2021).

Such novel approaches and business models enable new changeable modules to be inserted within the shell of an existing structure, thus meeting

Il crescente riconoscimento dei principi di gestione totale o "strategica delle risorse" consente un allineamento più aderente tra le risorse e le esigenze di servizio, un miglior utilizzo delle risorse (inclusa la condivisione) e individua le risorse idonee per la conversione o la ristrutturazione. Per ridurre il flusso e la domanda di nuove risorse, i principi dell'*open building* possono consentire la separazione tra componenti fissi e mobili (Zuidema, 2015).
La struttura fissa potrebbe essere classificata come immobile, mentre l'*infill* mobile potrebbe essere fornito come servizio. Un tale orientamento consentirebbe un sostanziale ampliamento della nozione di "*product stewardship*", per cui i produttori manterrebbero la custodia dei loro prodotti, fornendoli sostanzialmente come servizio[4] (Leoni, 2021).
Approcci e modelli di business innovativi consentirebbero l'inserimento di moduli adattabili all'interno della struttura di un edificio esistente, soddisfacendo così nuove esigenze pur conservando l'edificio già esistente (Lifschutz, 2017).

"Frugalità creativa" nel design architettonico
Il rapporto sulla sufficienza emesso al COP29 afferma che la sufficienza «non incoraggia né la precarietà né l'austerità», ma presenta piuttosto «un'opportunità economica di risparmi consistenti, ovunque…», auspicando una «frugalità creativa nell'architettura» (Global ABC, 2024a). Sebbene molti architetti tendano attualmente a vincolarsi ai desideri dei propri clienti, gli architetti vincitori del Premio Pritzker Lacaton e Vassal sono noti per godere di una encomiabile reputazione dovuta proprio alla prassi di consigliare ai propri clienti di costruire meno e di evitare la demolizione (Wainwright, 2021).
Ciò rivela opportunità per gli architetti di assumere un ruolo più influente nella decisione "preliminare" di "costruire, o non costruire", e nell'assistere i clienti nel soddisfare le loro esigenze in modi meno intensivi in termini di impiego di risorse e materiali e, elemento di non secondaria importanza, con più valore. Se i clienti sono in grado di fornire servizi con risorse più snelle, con meno immobili, o adattando ciò che possiedono, il risparmio in termini di costi e tempo potrebbe risultare più che consistente.

Considerazioni finali

Quanto esposto finora ha cercato di dimostrare che *Laudato Si'* avrebbe il potenziale di ispirare una rivoluzione della sobrietà (sufficienza) in architettura: una rivoluzione che superi il ristretto concetto di "decarbonizzazione" per ridurre le emissioni di gas serra, e che sia orientata verso l'obiettivo di riequilibrare e ridistribuire il consumo di risorse.
L'azione per il clima è solo uno degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, che comprendono la riduzione delle disuguaglianze, il consumo responsabile e la protezione della biodiversità.
Un approccio più olistico, in sintonia con l'enciclica risponde contemporaneamente al "grido della terra" e al "grido dei poveri".
Il concetto di sufficienza, nucleo tematico sia di *Laudato Si'* che del rapporto COP29, ha il potenziale di realizzare una rivoluzione *in ed oltre architettura*, soprattutto qualora il principio di "*Sufficiency First*" venga introdotto globalmente nelle politiche edilizie e applicato nella fase preliminare alle decisioni strategiche.

new needs while conserving existing built fabric (Lifschutz, 2017).

'Creative frugality' in architectural design
The sufficiency report launched at COP29 affirms that sufficiency «is not about precarity or austerity», but rather presents «an economic opportunity with important savings, everywhere…». It calls for "creative frugality in architecture" (Global ABC, 2024a).
Although many architects may currently be at the behest of their client's wishes, Pritzker Prize-winning architects Lacaton and Vassal are among those who enjoy a reputation for advising their clients to build less and avoid demolition (Wainwright, 2021).
This reveals opportunities for architects to assume a more influential role in the 'upfront' decision "to build, or not to build", and in assisting clients meet their needs in less resource and material intensive ways, with more value. If clients are able to deliver services with leaner assets, with less real estate, or by adapting what they have, this may also be expected to save costs and time.

Closing remarks
The foregoing shows that *Laudato Si'* may inspire a sobriety (sufficiency) revolution in architecture, one that reaches beyond narrow 'decarbonisation' to reduce GHG emissions, but also seeks to rebalance and redistribute resource consumption. Climate action is but one of the Sustainable Development Goals, which encompass reduced inequalities, responsible consumption, and protecting biodiversity. A more holistic approach is consistent with the encyclical, which simultaneously responds to the 'cry of the earth' and the 'cry of the poor'.
The concept of sufficiency, which lies at the heart of both the *Laudato Si'* and the COP29 report, has the potential to achieve a revolution in architecture and beyond, especially when the 'Sufficiency First' principle is introduced globally to building policies and applied within the earliest strategic decision-making phase.

NOTES
[1] The term 'sufficiency' is preferred to 'sobriety' in this paper.
[2] https://www.thesufficiencylab.org.
[3] https://www.youtube.com/watch?v=yY5D7gN5JM4.
[4] https://www.youtube.com/watch?v=IkX_KRCHz1I.

NOTE

[1] Il termine "sufficienza" è in questo contributo preferito a "sobrietà"

[2] https://www.thesufficiencylab.org

[3] https://www.youtube.com/watch?v=yY5D7gN5JM4

[4] https://www.youtube.com/watch?v=IkX_KRCHz1I

REFERENCES

Allwood, J. (2014), "Squaring the circular economy: the role of recycling within a hierarchy of material management strategies", in: Worrell, Ernst, and Reuter (Eds), *Handbook of recycling*, Elsevier, Amsterdam.

ARUP (2022), *Circular buildings toolkit*, March.

Barber, D.A. (2024), "Drawing the line", *Places Journal*, January. Available at: https://doi.org/10.22269/240130

Brand, S. (1995), *How buildings learn: what happens after they're built?* 1 October, Penguin.

Creutzig, F., Niamir, L., Bai, X., *et al.* (2021), "Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being", *Nature Climate Change*. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.5163965

EC (2020), *A Renovation Wave for Europe – Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives*. European Commission.

Francis (2015), *Laudato Si' Encyclical Letter on Care for Our Common Home*.

Georgescu-Roegen, N. (1973), "The entropy law and the economic problem", in Daly, H. E. (Ed.), *Toward a steady-state economy*, Freeman, pp. 37-49.

Global ABC (2024a), *Sufficiency and the Built Environment: Reducing Demand for Land, Floor Area, Materials and Energy as the First Step Towards Sustainable Buildings*, Global Alliance for Buildings and Construction, Paris, July. Available at: https://globalabc.org/resources/publications/sufficiency-and-built-environment

Global ABC (2024b), *Sufficiency in the Building Sector: Report Findings and Future Perspectives*, Webinar, 19 November. Available at: https://globalabc.org/events/sufficiency-building-sector-report-findings-and-future-perspectives

Global ABC (2022), *2022 Global Status Report for Buildings and Construction.* Global Alliance for Buildings and Construction, UN Environment Programme.

Habert, G., Röck, M., Steininger, K., Lupisek, A., Birgisdottir, H., Design, H., Chandrakumar, *et al.* (2020), "Carbon budgets for buildings – Harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions", in *Buildings & Cities*, Vol. 1, n. 1, pp. 429-452. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.47

Himes, A. (2021), "Talk by A. Himes to TedX Seattle", *Carbon Leadership Forum*. Available at: https://carbonleadershipforum.org/tedx-himes-climate-

HM Treasury (2013), *Infrastructure Carbon Review*. London, November.

Horup, L. H., Steinmann, J., Le Den, X., Röck, M., Sørensen, A., Tozan, B. and Birgisdottir, H. (2022), *Towards EU embodied carbon benchmarks for buildings #3 Defining budget-based targets – A top-down approach*. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.6120882

IEA (2023), *The Buildings Breakthrough 2023*, International Energy Agency.

IPCC (2023), Summary for Policy Makers, AR6 *Synthesis Report Climate Change 2023*.

IPCC (2022), Mitigation of Climate Change, *AR6 Report Climate Change 2022.*

Kohler, N., and Hassler, U. (2002), "The building stock as a research object", *Building Research & Information*, Vol. 30, n. 4 pp. 226-236. Available at: https://doi.org/10.1080/09613210110102238

Leoni, S. (2021), "The challenge of circularity in the construction sector", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment, Vol. 22, pp. 22-27. Available at:* https://doi.org/10.36253/techne-11536

Lifschutz, A. (2017), "Designing buildings for change", *Architectural Design,* Vol. 87, n. 5.

Longbottom, H. (2015) An overview of Laudato Si, *The Jesuit Post*, June 18. Available at: https://thejesuitpost.org/2015/06/an-overview-of-laudato-si/

Ness, D. (2023), "Technological efficiency limitations to climate mitigation: why sufficiency is necessary", *Buildings and Cities*, Vol. 4, n. 1, pp. 139-157. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.297

Oxfam (2023), *Climate Equality – A planet for the 99%*, November.

Princen, T. (2003), "Principles for sustainability: from cooperation and efficiency to sufficiency", *Global Environmental Politics, Vol.* 3, n. 1, pp. 33-50. Available at: https://doi.org/10.1162/152638003763336374.

Rees, W. (2009), "The ecological crisis and self-delusion: implications for the building sector", *Building Research and Information,* Vol. 37, n. 3, pp. 300-311. Available at: https://doi.org/10.1080/09613210902781470

RIBA (2020), *RIBA Plan of Work Overview*. Royal Institute of British Architects.

Richmond, L. (2024), COP29: Sufficiency and the built environment: Using less, achieving more, *Architecture 2030*, November. Available at: https://www.architecture2030.org/cop29-sufficiency-and-the-built-environment-using-less-achieving-more/

RICS (2024), *Whole life Carbon Assessment in the Built Environment*, Royal Institution of Chartered Surveyors, August.

Saheb, Y. (2021), *Sufficiency and Circularity: the Two Overlooked Decarbonisation Strategies in the 'Fit for 55' Package*, European Environment Bureau, 7 October.

UNEP (2020), *Emissions Gap Report 2020*, UN Environment Programme.

Wainwright, O. (2021), Sometimes the answer is to do nothing, *The Guardian*.

Walker, T. (2021), *Does an emissions scandal await the real estate sector?* 23 April, Schroders. Available at: https://www.schroders.com/en/insights/economics/does-an-emissions-scandal-await-the-real-estate-sector/

Wiedenhofer, D., Haas, W. and Haberl, H. (2023), "Toward a sustainable circular economy on a full planet: the role of thermodynamic principles", *SSRN*. Available at: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4538296

Zuidema, R. (2015), *Open building as the basis for circular economy*, ETH Zurich.

POLINATURE, UN PROTOTIPO PER UNO SPAZIO DI CONVIVENZA BIOCLIMATICO

Belinda Tato[1] belindatato@ecosistemaurbano.com
Jose Luis Vallejo[2] jlv@ecosistemaurbano.com
Marco Rizzetto[3] mr@ecosistemaurbano.com
Lily Liebes[3] lfl@ecosistemaurbano.com
[1] Department of Landscape Architecture, Harvard University, Cambridge, Stati Uniti
[2] Graduate School of Architecture, Planning and Preservation, Columbia University, New York, Stati Uniti
[3] Ecosistema Urbano, Cambridge, Stati Uniti

Le città di tutto il mondo sono caratterizzate da numerose disuguaglianze che con il tempo non sembrano assottigliarsi. Camminando da un'area all'altra di qualsiasi grande città, da architetti e progettisti, possiamo osservare come le differenze socio-economiche soggiacenti si traducono in differenze spaziali evidenti. In alcuni casi, queste differenze sono sottili: strade e marciapiedi più sporchi, buche più profonde, scarsa illuminazione, problemi di manutenzione. In altri casi, le differenze sono strutturali e radicate nelle decisioni di pianificazione e progettazione, o nella loro assenza. Una minore frequenza e capillarità del trasporto pubblico, problemi di accessibilità, mancanza di servizi pubblici, scarsità di aree verdi, temperature più elevate e maggiore vulnerabilità ai cambiamenti climatici sono solo alcuni dei molti problemi che le aree urbane meno abbienti devono affrontare.

Senza voler approfondire qui il nesso causale che esiste tra differenze socio-economiche, decisioni politiche, pianificazione urbanistica, progettazione e cambiamento climatico, è chiaro che dobbiamo agire ora per affrontare le disuguaglianze che affliggono una parte significativa delle comunità urbane e contribuire a frenare le cause del cambiamento climatico; le nostre possibilità di agire come progettisti sono limitate, ma farlo è più che mai necessario. In molte aree urbane progettate con una visione meramente speculativa e basata sull'uso dell'automobile, specialmente nelle zone socio-economicamente più svantaggiate, introdurre degli elementi naturali e creare un ambiente ospitale per le persone è una sfida complessa, che spesso viene vista come un investimento non essenziale dalle amministrazioni. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, le comunità che vivono in queste aree sono proprio quelle che hanno meno accesso a parchi, aree verdi e spazi pubblici di qualità.

Le conseguenze del cosiddetto "*park-equity gap*" (Prevention Institute *et al.,* 2020) sono tangibili e ben documentate: le persone che risiedono in comunità che hanno un accesso sicuro ad un parco hanno maggiori probabilità di fare esercizio fisico regolarmente e di godere di condizioni di salute in generale migliori (Wolch *et al.,* 2014), quelle che vivono in zone con una minore presenza di verde soffrono invece, tra le altre cose, di temperature significativamente più alte (Chen, 2024). Ma le conseguenze positive dell'avere accesso a un'area verde non si limitano alla salute fisica, influiscono notevolmente anche sulla salute mentale con effetti che chiunque può sperimentare quotidianamente e che sono ben studiati e documentati (Prevention Institute *et al.,* 2020).

D'altra parte, la scarsità di aree verdi nelle città e nelle periferie non offre nemmeno spazi sicuri e adatti alla coesistenza con altri animali non umani, tra cui tutte le specie che contribuiscono all'impollinazione. Il declino generalizzato e costante della biodiversità che il pianeta ha iniziato a sperimentare negli ultimi decenni, principalmente causato da fattori antropogenici (IPBES, 2019), è profondamente preoccupante ed il modo in

POLINATURE, A PROTOTYPE FOR A PLUG-IN BIOCLIMATIC URBAN OASIS

Cities all over the world are home to many inequalities that do not seem to be diminishing over time. Walking from one area to another in any large city makes us – designers and urbanists – see how underlying socio-economical differences translate to jarring spatial contrasts. In some cases these differences are subtle: dirtier curbs and sidewalks, deeper potholes, lack of lighting, maintenance issues. In other cases the differences are structural and deeply rooted in planning and design decisions or the lack thereof. Less frequent and less capillary public transportation, accessibility issues, lack of public or accessible equipment, scarcity of green areas, higher temperatures, higher vulnerability to climate change – these are just a few of the many issues that less affluent areas face. Without digging deeper into the cause-consequence nexus between socio-economical differences, politics, planning, design, and climate change, it is clear that it is necessary to act now and tackle the inequalities that affect large urban communities and curb the causes of climate change, which affect the whole planet. Our actions as designers and planners are limited but necessary now more than ever.

In many urban areas that have been designed with a speculative, car centred mindset – and especially when they belong to the socio-economically poorer zones – introducing natural elements and creating a human hospitable environment is challenging and often seen as a non-essential investment by decision-makers. Nevertheless, in most cases the communities living in these areas are the ones that disproportionately lack access to parks, green areas, and quality public spaces.

The consequences of this park-equity gap (Prevention Institute *et al.*, 2020) are tangible and well documented. For example, residents of a community that has safe access to a park are more likely to exercise regularly and have increased rates of overall health (Wolch *et al.*, 2014), while communities that live in areas with lower urban green coverage experience disproportionately higher temperatures (Chen, 2024). Furthermore, the positive consequences of having access to a green area are not limited to physical health. They also considerably affect the mental health of citizens and their everyday experiences (Prevention Institute *et al.*, 2020).

The scarcity of green areas in cities and their suburbs offers no safe spaces for coexistence with other non-human animals, including pollinators. The widespread, steady decline in biodiversity the world has started experiencing

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17672

cui abbiamo concepito e progettato le nostre città è parte del problema. L'entità delle conseguenze che la perdita di biodiversità avrà sulle comunità umane è ancora oggetto di studio, ma è utile ricordare che la perdita di diversità genetica nelle piante rappresenta un serio rischio per la sicurezza alimentare globale, minando la resilienza di molti sistemi agricoli e che oltre il 75% dei tipi di colture alimentari globali dipende dall'impollinazione animale la cui popolazione sta diminuendo (Vasiliev and Greenwood, 2021) principalmente a causa dell'impatto delle attività umane (IPBES, 2019).

Gli eventi climatici estremi, in particolare le ondate di calore, sono un altro fattore profondamente legato al cambiamento climatico che sta influenzando la nostra pratica progettuale aggiungendo nuove sfide. L'idea di un rifugio climatico (Amorim-Maia *et al.,* 2023), un luogo che offra migliori condizioni durante eventi climatici estremi, può sembrare distopica, ma alla luce degli eventi recenti sembra quasi un elemento necessario in ogni città. Il caldo estremo ha un impatto profondo sul modo in cui le persone, specialmente quelle soggette a disuguaglianze intersezionali, utilizzano lo spazio pubblico, limitandone fortemente l'utilizzo tanto nelle aree calde come in quelle temperate (Amorim-Maia *et al.,* 2023). Ci sono studi che indicano come le temperature più alte, e i rapidi aumenti di temperatura media, possano essere associati addirittura con l'aumento dei casi di violenza (Choi, 2024). Ma gli eventi climatici estremi hanno un impatto anche sul comfort domestico, specialmente nelle comunità più povere che vivono in edifici di bassa qualità e scarsamente isolati (Chen, 2024). Essere capaci di progettare degli spazi urbani confortevoli e accessibili tutto l'anno, anche durante le ondate di calore, è un compito cruciale per gli architetti, lo spazio pubblico non è infatti solo quello che utilizziamo per spostarci nelle città, ma è anche il luogo dove le comunità si incontrano, si conoscono e si mescolano e dove avvengono molte delle interazioni, degli scambi e delle comunicazioni tra persone.

È chiaro, a questo punto, che un approccio ecosistemico volto a migliorare la quantità e la qualità degli spazi pubblici e degli spazi verdi urbani sia necessario e che dovrebbe essere considerato una pratica standard. Ma ci sono anche altri aspetti che dovremmo aggiungere all'equazione: non possiamo limitare i nostri interventi al principio ippocratico del *non nocere*; come progettisti dobbiamo cercare di avere un impatto il più possibile positivo sull'ambiente, aggiungendo il maggior numero possibile di elementi "catalizzatori" al sistema città – e al progetto del suo futuro – con l'obiettivo di ottenere una reazione a catena di fattori positivi. Favorire l'aumento della biodiversità, progettare nuove aree verdi sicure per gli impollinatori, generare un surplus di energia, ridurre l'effetto isola di calore, sensibilizzare al cambiamento climatico, stimolare lo scambio tra le persone, facilitare l'accesso alle aree verdi, portare bellezza in aree in cui manca, aumentare la sicurezza per le donne, migliorare l'accessibilità universale, sono solo alcune delle cose che i progettisti dovrebbero considerare quando affrontano un nuovo progetto.

Come studio, negli ultimi dieci anni siamo stati coinvolti in vari progetti di pianificazione e progettazione urbana, affrontati con un approccio "ecosistemico", come quello descritto nelle righe precedenti che è parte integrante della nostra metodologia e della nostra identità professionale. Abbiamo lavorato con questo stesso approccio in diverse regioni del mondo, dal Bangladesh al Paraguay, alla Giordania, al Kirghizistan, e abbiamo appreso che gli ambiziosi progetti di rivitalizzazione urbana cha abbia-

in the last decades, which is mostly driven by anthropogenic factors (IPBES, 2019), is deeply concerning. The way we conceive and design our cities is part of this picture. The magnitude of consequences that biodiversity loss will have on human communities are still being studied. However, it is useful to recall that the loss of genetic diversity in plants poses a serious risk to global food security by undermining the resilience of many agricultural systems. More than 75% of global food crop types rely on animal pollination and the pollinator population is declining (Vasiliev and Greenwood, 2021) mostly because of anthropogenic causes (IPBES, 2019).

Another factor deeply related to climate change that is affecting our practice both as designers and as citizens, is that extreme climatic events, specifically extreme heat, are more likely to occur with every passing year, posing new challenges to cities and rural communities alike. The idea of a climatic shelter (Amorim-Maia *et al*., 2023), a place that offers better conditions during extreme climatic events, sounds dystopian, but in light of recent events it seems almost a necessary feature in every city. Extremely hot weather has a profound impact on how people, especially those affected by intersectional inequalities (Amorim-Maia *et al*., 2023), use public space, severely limiting its usage possibilities both in hot and temperate areas. There is even evidence that higher temperatures, and short-term increase in mean temperature exposure, are associated with a rise in crime and violence (Choi, 2024). Extreme climate events also affect comfort indoors and at home, especially in less affluent communities where the buildings are ill-equipped to handle rising temperatures (Chen, 2024). It is in these communities that quality public spaces are necessary, as they can provide much needed respite that is otherwise unavailable. Keeping urban spaces comfortable and accessible all year round is a critical task for urban designers. Public space is not only a space that we use to move through the city; it is also the place where communities blend and mingle, and where interaction, exchange, and communication take place.

It is clear, at this point, that an ecosystemic approach aimed at improving the quantity and quality of both urban green and public spaces is necessary and should be elevated to mandatory practice. But there is more that needs to be added to the equation. We cannot limit our interventions to the Hippocratic principle of "doing no harm" but, rather, as designers, we should aim to have a positive impact, adding as many "catalysts" as we can to the city viewed as a breeding ground, and designing to obtain the most positive reactions. Encouraging biodiversity growth, planting new pollinator-friendly areas, generating electricity, lowering the heat island effect, raising awareness about climate change, stimulating interchange between people, easing access to green areas, bringing beauty to areas that lack it, increasing safety for women, and improving universal accessibility are a small handful of the parameters designers should keep in mind when approaching a new project.

During the last decade, we have been involved in various urban planning and urban design projects we approached through an ecosystemic lens. It is even part of our name, "Ecosistema Urbano", which translates directly

mo contribuito a mettere in moto spesso tardano molti anni prima di iniziare a produrre i risultati attesi. Il loro orizzonte temporale si misura in decenni, la loro implementazione ed il loro successo come progetti dipendono da molti fattori completamente imprevedibili e spesso indipendenti dalla qualità intrinseca del progetto. Cambiamenti di tipo sistemico in aree urbane svantaggiate richiedono una combinazione di grandi sforzi da parte di numerosi stakeholders, una quantità significativa di risorse da investire e una stabilità istituzionale a lungo termine. Questi tre fattori chiave (insieme ad altri ovviamente) raramente si allineano, rendendo incerti i risultati dei progetti di grande scala e a lungo termine.

Ciò non significa che i grandi progetti in fase iniziale, in pausa, o addirittura abbandonati non portino nessun beneficio. Anzi, spesso gettano le basi per cambiamenti inaspettati, alimentando la partecipazione della comunità o fungendo da modello per iniziative più piccole. Dalla nostra esperienza con questi progetti, abbiamo imparato che è necessario lavorare con diversi orizzonti temporali per raggiungere i risultati desiderati, anche quando l'obiettivo è a lungo termine. Gli interventi tattici su piccola scala sono uno dei modi per dare il via ad un processo di cambiamento e guadagnare lo slancio necessario per ottenere risultati più ampi o creare una massa critica attorno a una determinata iniziativa, al di fuori delle grandi strategie istituzionali di lungo termine.

Polinature è il nostro ultimo tentativo di progettare un dispositivo a bassa tecnologia e basso costo, replicabile, adattabile, e facilmente installabile che possa fungere da innesco per un più ampio processo di trasformazione urbana orientata ad ottenere spazi pubblici migliori e un ambiente urbano a impatto climatico zero. Si tratta di un dispositivo temporaneo progettato per generare spazi pubblici a partire da qualsiasi spazio urbano, capace di adattarsi a diversi contesti ambientali e di mitigare gli effetti locali delle ondate di calore. Inoltre, ha un impatto positivo sulla biodiversità urbana attraendo numerosi impollinatori e creando uno spazio didattico che invita le comunità urbane a riflettere sul loro impatto sull'ambiente e sull'importanza della coesistenza con altre forme di vita. La prima iterazione è stata realizzata con successo a Cambridge, Massachusetts, nell'estate del 2024.

Un kit da montare

L'idea alla base di *Polinature* è quella di progettare un elemento urbano facilmente implementabile e replicabile utilizzando un *kit* di parti facilmente accessibili, economiche e riutilizzabili. La struttura si basa su un sistema di ponteggi multidirezionale del tipo *Ringlock*, che può essere assemblato in loco senza l'uso di gru o macchinari pesanti e successivamente può essere smontato per essere riutilizzato completamente (Figg. 1, 2). La struttura include dei contrappesi per garantire la stabilità in condizioni estreme, eliminando la necessità di fondazioni permanenti. La logica del "*kit* da montare" consente di adattare la morfologia del padiglione a nuovi spazi e condizioni ambientali, con l'obiettivo di renderlo replicabile in diverse località massimizzando i suoi effetti anche laddove l'accesso a spazi pubblici di qualità o ad aree verdi è limitato.

Energeticamente Autonomo

Il livello superiore della struttura è dotato di dodici pannelli solari che possono produrre energia più che sufficiente per soddisfare le già basse esigenze

to "Urban Ecosystem". We have been working with this approach in various regions around the world, from Bangladesh to Paraguay, Jordan, and Kyrgyzstan, learning that these large projects often take a long time to start delivering the expected results. Their time frame is measured in years or decades; hence, their implementation and success depend on many factors, which are completely unforeseeable, and mostly independent from design quality. Systemic changes in neglected urban areas require combined efforts from numerous and diverse stakeholders, an important amount of resources, and long term institutional stability. These three key factors (among others) only seldom align, making the results of large-scale, long-term projects uncertain. This does not mean projects in their early or paused states do not garner any benefits. In fact, most of the time they plant a seed of transformation that often finds unexpected ways to germinate, such as through grassroots participation, or by serving as a reference for other new projects. From our experience with these projects, we have learned that it is necessary to work on different timeframes to achieve the results we want, even when the target is projected in the long term. Small scale, tactical interventions are one of the ways we can catalyse change, gain momentum to achieve bigger results, and create a critical mass around certain initiatives outside large, long-term institutional strategies.

Polinature is our latest move in this regard. It is designed as a low-tech, low-cost, replicable, and adaptable device that can serve as a tinder for larger urban transformation processes towards better public spaces and, eventually, climate neutral urban environments. It is a temporary strategy for generating public space out of any urban space. Capable of adapting to diverse surrounding environments, it responds to extreme heat through a particular focus on bioclimatic comfort and digital interactivity. Overall, its many aspects also have a positive impact by inviting biodiversity into an urban footprint and creating a didactic public space that encourages citizens to reflect on their relationship with the environment and the importance of coexistence with other life forms.

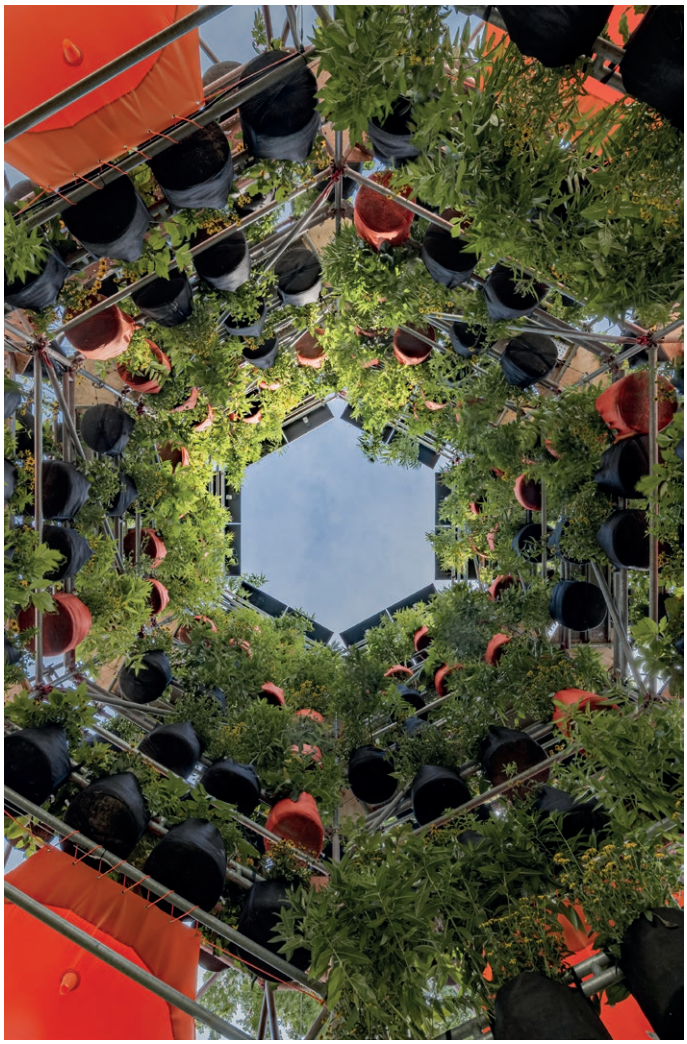
Polinature is a prototype designed as an open source, replicable kit of parts that can be easily and quickly deployed in any small open space, thus transforming it into a temporary public space. The first iteration was successfully built in Cambridge, Massachusetts, in the summer of 2024.

Kit-of-parts

The idea behind Polinature is to design an easily deployable and replicable urban device using a kit-of-parts that includes accessible, affordable, reusable and up-cyclable materials. The structure primarily involves a ringlock scaffold system, which can be assembled on site without using cranes or heavy machinery, and can be subsequently dismantled for reuse, thus generating zero-waste (Figs. 1, 2). The structure includes counterweights to ensure stability under extreme conditions (190+ Km/h winds), eliminating the need for a permanent foundation that can alter the site. Additionally, it incorporates a cantilevered triangular design that supports an inflatable canopy, providing shade around Polinature's perimeter.

The kit-of-parts rationale makes it possible for Polinature's morphology

01 | *Polinature*, Ecosistema Urbano, foto di Emilio P. Doitzua
Polinature, Urban Ecosystem, photo by Emilio P. Doitzua



del sistema. Immagazzinando l'energia proveniente dai pannelli solari in una batteria integrata nel padiglione, *Polinature* diventerebbe inoltre completamente autosufficiente e in grado di funzionare senza collegarsi alla rete. Questo aspetto rende il processo di installazione più semplice e flessibile, eliminando la necessità di interventi infrastrutturali sul sito circostante. Se collegato alla rete invece, durante i mesi estivi, può generare più energia di quella che consuma, e questa energia può essere reimmessa nella rete elettrica; a seconda dell'esposizione al sole e della latitudine, può quindi raggiungere un bilancio energetico netto positivo.

Biodiversità

Il padiglione è stato concepito come un luogo in cui persone e specie vegetali, animali e insetti possano coesistere senza generare conflitti. Questa prima iterazione del progetto ospita 1.400 piante perenni, piantate in oltre 300 in contenitori appesi ai correnti dell'impalcatura.
In ogni diversa iterazione la selezione delle piante dovrà naturalmente adattarsi al luogo e alla regione; in questo caso, sono state selezionate piante native del New England la cui fioritura coincideva con le date di apertura del padiglione per attirare impollinatori locali e sufficientemente frondose per ridurre le temperature attorno e all'interno del padiglione durante l'umida estate atlantica.
Durante il periodo di permanenza dell'installazione, situata in un'area urbana di Cambridge, Massachusetts, è stato rassicurante osservare il gran numero di impollinatori e altri piccoli animali attratti dal padiglione. I fiori erano costantemente visitati da numerose specie di bombi, api, vespe, sirfidi e farfalle, dimostrando come un intervento su piccola scala possa avere un impatto positivo immediato sull'ambiente circostante. Creare habitat adatti per gli impollinatori è più importante che mai,

to adapt to new spaces and climates. The ultimate goal is to replicate Polinature throughout several locations in the city – especially those that experience limited access to quality public spaces, lack green areas, and are affected by extreme heat – to maximise its effects.

Off-grid

The top level of the structure is equipped with twelve solar panels that can produce more than sufficient energy to meet the system's already low needs. Storing energy from the panels in a battery integrated into the pavilion would make Polinature completely self-sufficient and able to function without connecting to the grid. This aspect makes the installation process easier and more flexible, as it eliminates the need for electrical and infrastructural interventions to the surrounding site.
If connected to the grid during summer months, Polinature would be able to generate more energy than it consumes. This energy could then be injected back into the electric grid. As such, depending on the site's sun exposure, Polinature can achieve a positive net energy balance.

Biodiversity

Polinature was envisioned as a site where humans and native plant, animal, and insect species could come together and coexist. The first iteration hosted 1,400 perennial plants in 38 and 57 litre grow bags hanging from its scaffolding ledgers.
Grow bags were selected for their ability to boost plant growth and health. Their design and fabric choice facilitates reuse over time and the formation of a full, fibrous root structure, as well as airflow to the roots, assuring the plants are not damaged by heat nor root circling, while allowing for even water distribution.
In subsequent iterations, the plant selection must adapt to the site and region. In this case a selection of native plants was carefully curated to attract pollinators native to the New England region, and to lower temperatures both around and inside the pavilion during a hot and humid Atlantic summer. Furthermore, choosing native species that are highly suited to the conditions of the area means that the pavilion's plants will require low levels of maintenance.
During the installation's short stay in an urban area of Cambridge, Massachusetts, it was reassuring to observe the large number of pollinators and other small animals that were attracted to the pavilion. Polinature's blossoming flowers were constantly visited by bumblebees, honeybees, wasps, hover flies, and butterflies, demonstrating how a small-scale intervention can have an immediate positive impact on its surroundings. Creating pollinator habitats is more important than ever before, and so is the need to invent new ways to support their presence in cities and make it compatible with human presence, even in dense urban environments (Hall *et al*., 2017; Zajdel *et al*., 2024; Weston, 2024).
All the selected flowering plants are perennials. In a medium-term installation this will guarantee that plants can germinate year after year without further maintenance. In the first iteration – which was more of a short-term scenario – after the pavilion was disassembled, all the plants were distributed to the community during a public event. Since they are perennials, they will rebloom year after year, thus creat-

02 | *Polinature*, Ecosistema Urbano, foto di Emilio P. Doitzua
Polinature, Urban Ecosystem, photo by Emilio P. Doitzua

così come è necessario inventare nuovi modi per aumentare la loro presenza nelle città e renderla compatibile con l'attività umana, anche in ambienti urbani densamente popolati (Hall *et al.,* 2017; Zajdel *et al.,* 2024; Weston, 2024).
Tutte le piante da fiore selezionate sono perenni. In un'installazione a medio termine, ciò garantirebbe la germinazione delle piante anno dopo anno senza ulteriori interventi di manutenzione. In uno scenario a breve termine, come in questa prima iterazione, dopo lo smantellamento del padiglione, tutte le piante sono state distribuite alla comunità locale durante un evento pubblico. Essendo perenni, rifioriranno anno dopo anno, creando un effetto a catena nei giardini di tutta la città, rendendo permanenti i benefici dell'iniziativa.

Comfort Climatico

L'installazione mira a migliorare le condizioni ambientali degli spazi urbani all'aria aperta, contrastando anche quei problemi legati al cambiamento climatico (cattiva qualità dell'aria, temperature estreme, umidità eccessiva, ecc.) per mitigarne l'impatto sulla salute pubblica. L'obiettivo è quello di utilizzare un insieme integrato di elementi naturali ed un uso oculato di risorse sostenibili per migliorare il benessere legato al comfort bioclimatico.
Il padiglione è dotato di una copertura gonfiabile che fornisce ombra lungo il perimetro, permettendo così che anche l'ambiente circostante si possa utilizzare come spazio di ritrovo. La copertura presenta due elementi principali: dei gusci luminosi bianchi e delle bolle climatiche di color arancione. Entrambe le parti lavorano insieme per creare un ambiente più confortevole riducendo la radiazione solare diretta.
I gusci luminosi sono permanentemente gonfiati e di notte illuminano il padiglione utilizzando luci LED. Le bolle climatiche invece, si gonfiano solo in risposta a determinate condizioni ambientali, emettendo una brezza verso l'interno del padiglione. Questi elementi, infatti, si attivano in tempo reale quando i sensori all'interno del padiglione rilevano che le condizioni

| 02

ambientali, come la temperatura e l'umidità, hanno oltrepassato una certa soglia. La brezza indirizzata verso le persone con degli ugelli aiuta ad abbassare la sensazione di calore e sposta l'aria calda verso l'alto, fuori dal padiglione, migliorando così il comfort al livello terra. La velocità di uscita dell'aria prodotta dalle bolle climatiche è stata determinata attraverso una serie di simulazioni per garantire la maggiore omogeneità possibile e ottimizzata per migliorare l'*Universal Thermal Climate Index* (UTCI), un indice simile alla temperatura che quantifica il comfort delle persone all'aperto (Błazejczyk *et al.,* 2013).
Combinando la brezza generata dalle bolle climatiche, la copertura gonfiabile che riduce la radiazione solare e le piante che migliorano la qualità dell'aria, è possibile ridurre la sensazione di calore all'interno del padiglione. Due sensori posizionati all'interno dello spazio e uno fuori dal padiglione sono stati utilizzati per misurare le condizioni ambientali e controllare i sistemi di climatizzazione attivi. Nel momento di maggior stress termico di una calda giornata estiva, la temperatura equivalente UTCI misurata all'esterno del padiglione era di circa 33°C, mentre lo stesso parametro all'interno del padiglione era inferiore a 29°C. Allo stesso modo, la temperatura dell'aria esterna ha raggiunto un picco di 32°C, mentre la temperatura all'interno del padiglione misurava oltre 4,4°C in meno.
Questo prototipo è servito per dimostrare che il padiglione può raggiungere i suoi obiettivi, sebbene ridurre le temperature di 4-5°C in una giornata calda sia un buon risultato, è ragionevole pensare che avrebbe un impatto ancora maggiore in aree con superfici impermeabili (asfalto, cemento, ecc.) e prive di ombra e vegetazione, poiché creerebbe un netto contrasto tra le condizioni esistenti e uno spazio pubblico più verde e confortevole.

Interattività Digitale

Essere in grado di misurare l'impatto reale dei loro progetti e condividerlo in modo accessibile è un compito importante ma a volte trascurato dai progettisti. In questo caso si è cercato di dare ai visitatori la possibilità di interagire con il padiglione attraverso un sistema completo di monitoraggio e visualizzazione dei dati, che consente anche di analizzare e capire quali modifiche sarà necessario apportare al kit per future iterazioni. Grazie a dei tablet posizionati alla base del padiglione è possibile, infatti, visualizzare le statistiche ed i dati riguardanti il progetto rendendole accessibili ai visitatori, la stessa cosa avviene su un sito web sviluppato *ad-hoc*, che rende queste informazioni facilmente accessibili a chiunque in tempo reale.
L'educazione e la sensibilizzazione sono due strumenti inestimabili nella lotta contro il cambiamento climatico. In questo senso, *Polinature* è sia uno spazio pubblico visivamente accattivante che un elemento pedagogico dove le persone possono riunirsi per sperimentare un nuovo possibile modo di cambiare la città verso un modello più giusto e con un impatto positivo.

Conclusioni

Interventi temporanei come questo possono essere importanti per avviare un processo di cambiamento nelle nostre città verso la creazione di una rete di spazi pubblici più confortevoli e climaticamente neutri. I progetti di urbanistica tattica e su piccola scala, con il loro potenziale dimostrativo, sono strumenti estremamente utili che possono connettere comunità e *stakeholders* con l'obiettivo più ampio e vitale, ma spesso eccessivamente astratto, di raggiungere gli obiettivi della neutralità climatica.

ing a chain effect of pollination in gardens across the Boston metropolitan area, thus broadening the installation's impact over time.

Climate Comfort

The environmental objectives of Polinature directly target improving the local environmental conditions of outdoor urban spaces that are linked to climate change (poor air quality, extreme temperatures, carbon emissions, exacerbated humidity, etc.) in order to mitigate their impact on public health. The goal is to achieve improved climatic comfort through an integrated assemblage of natural elements combined with sustainable resource management systems.
The pavilion is equipped with an inflatable canopy cantilevered to the pavilion that provides shade to its perimeter, thus activating Polinature's surroundings as a space for gathering. The canopy features two core elements, namely white lighting pods and orange climatic bubbles. Both parts of the canopy work together to produce a more climatically comfortable environment by reducing solar radiation and radiant temperature.
The lighting pods remain inflated at all times and, at night, fill Polinature with a dynamic illuminating glow by utilising low consumption LED lights. The climatic bubbles, on the other hand, inflate to release a breeze into the pavilion in response to certain weather conditions. In fact, they activate in real time when climatic sensors detect uncomfortable climatic conditions like rising temperatures and humidity. The created breeze helps lower the discomfort associated with heat by displacing warm air, pushing it up and out of the pavilion, ultimately improving comfort at the ground level. The air velocity produced by the climatic bubbles was determined through a series of simulations so that the ventilation produced was optimised to improve the Universal Thermal Climate Index (UTCI), an index that quantifies outdoor comfort through parameters including temperature, wind speed, humidity, and sun exposure.
The pavilion's impact is achieved through a sum of multiple parts, precisely, climatic bubbles replacing warm air for cold breezes; a canopy reducing solar radiation; plants that, together, create shade, absorb carbon dioxide and conduct evapotranspiration. Altogether, these parts create an experience that can improve the UTCI in and around Polinature.
Two sensors placed inside Polinature and one in its surroundings were used to measure environmental conditions and to control the pavilion's active systems. At noon on a hot summer day, when the meteorological conditions were at their harshest, the average UTCI equivalent temperature outside Polinature was 32.8° C, whereas the same parameter inside the pavilion averaged under 28.9° C. Likewise, the air temperature outside Polinature averaged a peak of 32° C, whereas the temperature inside the pavilion was over 4.4° C cooler.
This iteration of Polinature was proof-of-concept that the pavilion can meet its goals. While reducing temperatures by 4-5ºC on a hot day is good, Polinature would have an even bigger impact in areas that have an abundance of impermeable surfaces (asphalt, concrete, etc.), and which lack shade and vegetation, as it would create a stark contrast between the existing conditions and a greener, more comfortable public space.

REFERENCES

Amorim-Maia, A.T. *et al.* (2023), "Seeking refuge? The potential of urban climate shelters to address intersecting vulnerabilities", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 238. Available at: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104836.

Błazejczyk, K. *et al.* (2013), "An introduction to the Universal thermal climate index (UTCI)", *Geographia Polonica*, Vol. 86, n. 1, pp. 5-10. Available at: https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1.

Chen, P. (2024), "Inequality in heat: The role of spatial patterns of urban green infrastructure", *Urban Climate*, Vol. 53. Available at: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101820.

Choi, H.M. *et al.* (2024), "Temperature, Crime, and Violence: A Systematic Review and Meta-Analysis", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 132, n. 10. Available at: https://doi.org/10.1289/EHP14300.

Hall, D.M. *et al.* (2017), "The city as a refuge for insect pollinators", *Conservation Biology*, Vol. 31, n. 1, pp. 24-29. Available at: https://doi.org/10.1111/cobi.12840.

IPBES (2019), *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Zenodo. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579.

The Prevention Institute and UCLA Fielding School of Public Health (2020), *Park Equity, Life Expectancy, and Power Building – Center for Occupational & Environmental Health*. Available at: https://coeh.ph.ucla.edu/park-equity-life-expectancy-and-power-building/ (Accessed on 06/11/2024).

Vasiliev, D. and Greenwood, S. (2021), "The role of climate change in pollinator decline across the Northern Hemisphere is underestimated", *Science of The Total Environment*, Vol. 775. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145788.

Weston, P. (2024), "Patches of wildflowers in cities can be just as good for insects as natural meadows–study", *The Guardian*, 20 November. Available at: https://www.theguardian.com/environment/2024/nov/20/patches-of-wildflowers-in-cities-can-be-just-as-good-for-insects-as-natural-meadows-study-aoe (Accessed on 27/11/2024).

Wolch, J.R., Byrne, J. and Newell, J.P. (2014), "Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 125. Available at: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.

Zajdel, B. *et al.* (2024), "Sown wildflower meadows: Can they replace natural meadows in urban spaces for bees, butterflies and hoverflies?", *Ecological Entomology*. Available at: https://doi.org/10.1111/een.13396.

Digital Interactivity

Being able to measure the real-world impact of the pavilion, and share that information in an accessible manner is an important task for designers. As such, Polinature seeks to give visitors the power to understand and interact with their environment in a new, informed way via a holistic data monitoring and visualisation scheme.

Sensors placed throughout the pavilion measure data about the climate conditions and thermal comfort of the space in real time. Humidity, temperature, wind speed and direction, air particulate matter, air pressure, gas levels and CO_2 are all monitored, both inside and outside the pavilion. Direct comparison makes it possible to grasp the impact of Polinature, make any necessary adjustments to its kit-of-parts and, ultimately, visualise how it can successfully adapt to public spaces in need of climatic comfort around the world.

Not only does Polinature measure and store this data, but tablet screens at the base of the pavilion can display the aforementioned statistics in a way accessible to visitors. Furthermore, a website developed specifically for Polinature makes this information readily available to citizens, giving them the power to visualise and interact with the pavilion.

Education is an invaluable tool in the fight against climate change. As such, Polinature is both a visually compelling public space and a pedagogical hub where people can come together to experience a new way of pushing the city towards a more just and climate neutral model.

Conclusions

Temporary interventions like Polinature can be instrumental to initiating a process of change in our cities towards the creation of a more comfortable and environmentally positive network of public spaces. Small scale and tactical projects, with their demonstrative potential, are extremely useful tools that can connect communities and decision-makers with the larger and vital – but often abstract – objective of the climate neutrality agenda.

QUALE NATURA IN UNA CITTÀ SNATURATA?

a cura di/*edited by* **Francesca Thiébat**, https://orcid.org/0000-0003-4478-6693
e/*and* **Cristiana Cellucci**, https://orcid.org/0000-0002-7934-963X

Nel suo *Discorso di un italiano intorno alla poesia romantica*, che troviamo originariamente nello Zibaldone nel 1817, e ripreso poi in altre raccolte, Leopardi si domanda «come abitare in un mondo snaturato la natura?». Questa domanda è estremamente attuale soprattutto se riferita al contesto urbano, dove la natura è stata, e in parte è, una presenza coperta, esclusa o marginale.
Le sfide climatico-ambientali richiedono soluzioni e processi sempre più diversificati, che portano a riflettere su una nuova abitabilità urbana della natura. Il saggio visivo, partendo dagli esiti della *call for photo* "Quale natura in una città snaturata?" promossa da SIdTA nel 2024, analizza il rapporto tra ambiente antropizzato e ambiente naturale, esaminando tre aspetti fondamentali: in primo luogo, come reintegrare la natura in un contesto che l'ha esclusa; in secondo luogo, come rafforzare il legame tra uomo e natura; e infine, come ripensare l'architettura in relazione al contesto naturale che la accoglie. L'analisi si basa su dodici fotografie selezionate dalla Giuria composta da Filippo Romano, fotografo professionista, Bartolomeo Di Chio, professore di Arboricoltura Generale e Colture Arboree presso l'Università degli Studi della Basilicata, Mario Losasso, presidente della Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura, Elena Mussinelli, editor in chief di TECHNE e Francesca Thiébat, membro del Board di TECHNE.
"Natura Morta" (Fig. 1) introduce una prima riflessione sull'importanza di riaccogliere la natura in un contesto che da tempo l'ha sopraffatta. Il ciclo vitale della materia organica si interrompe sulla pavimentazione artificiale in cemento. È così che la poesia di Nicolò Tommaseo della didascalia ci ricorda che la natura va apprezzata e amata. Le foglie a terra, ancora vive dal punto di vista botanico, che soccombono a causa dell'artificialità del contesto in cui si trovano, rappresentano dunque uno stimolo che l'autore Andrea Campioli contrappone all'imperturbabilità dell'artificiale. All'estremo opposto "Vertical Farm in un Tunnel" di Filippo Oppimitti (Fig. 2) mostra una visione tecnologica e sperimentale della natura, qui rappresentata come edibile e utile per un futuro in cui si prevede che l'80% della popolazione mondiale vivrà in contesti urbani. L'immagine, che rimanda alle sperimentazioni degli anni Settanta e Ottanta di Marco Zanuso per la Napoli sotterranea[1], sembra tuttavia ricordare la necessità prima di tutto di valorizzare le aree agricole spesso in stato di abbandono che circondano le città.
L'avvio di un nuovo equilibrio tra ambiente antropizzato e ambiente naturale è ben sintetizzato nella fotografia di Rosaria Revellini, che restituisce un futuro incerto, ma possibile. Un'architettura imponente accoglie una pianta rampicante a cui viene suggerita la direzione di crescita sugli elementi metallici di facciata (Fig. 3). "Una natura a sua volta 'costruita', pensata, progettata e quindi in un certo senso 'snaturata' perché non più spontanea". Parallelamente, la fotografia di Ilaria Pugliese suggerisce un pensiero quasi scontato: molto prima della diffusione del verde verticale 'progettato' c'era un verde verticale spontaneo da rispettare e accudire che viveva insieme alle persone (Fig. 4).
La relazione tra essere umano e natura emerge nella fotografia di Luigi Vessella che ritrae un giardino terapeutico che sembra ripreso dal prato, quasi come se la natura avesse una capacità intrinseca di prendersi cura della persona rispettandone i bisogni emotivi, psicologici e fisici (Fig. 5).
Nella fotografia di G. Manfrolini (Fig. 6), invece, l'albero diventa un mero elemento architettonico, compositivo e metafisico e introduce il terzo aspetto su cui si interroga il saggio visivo: la relazione tra architettura e natura.
Il bacino artificiale (Fig. 7), situato quasi nel centro di Cracovia, è stato costruito dopo l'allagamento di una vecchia cava di calcare. La fotografia di Elena Dziopak mette in evidenza la vulnerabilità del contesto naturale e sottolinea la necessità di adattamento delle strutture artificiali ai fenomeni naturali sempre più violenti. Parallelamente, la fotografia mostra un tentativo di addomesticare la natura attraverso la sovrapposizione di paesaggi artificiali e naturali, con l'intento di generare benessere e accrescere la qualità della vita degli abitanti della città.
La serie "Riappropriazioni" di Irene Peron (Figg. 8, 9, 10), mostra un'area industriale dismessa in cui le strutture abbandonate sono state progressivamente invase dalla vegetazione che si riappropria dei suoi spazi. In queste immagini si evidenzia un "paesaggio potenziale" che emerge nei vuoti urbani, spesso trascurati, delle città: lo stimolo è di immaginare interventi di rinverdimento controllato e a bassa manutenzione, attraverso la creazione di parchi urbani attrezzati che favoriscano la crescita di specie arboree e arbustive autoctone. La serie si inserisce in un ampio dibattito sul rapporto tra architettura, "diritto alla città" e "bene comune", promuovendo un approccio partecipato nella progettazione e nella realizzazione dello spazio pubblico.
Tuttavia, nei processi di ri-naturalizzazione delle città il contrasto tra architettura e natura spesso si accentua. Nelle fotografie di Valerio Fonti, l'elemento vegetale "inserito esclusivamente in copertura o in facciata come puro ornamento decorativo" (Fig. 11), si contrappone ad "un residuo di Terzo Paesaggio che, nella sua fortuita sopravvivenza nel tessuto urbano, manifesta tutta la ricchezza e varietà biologica, offrendo uno spunto altro sul tema del verde nelle nostre città" (Fig. 12). Spazi diversi per forma, dimensione e statuto, accomunati solo dall'assenza di ogni attività umana, ma che presi nel loro insieme sono fondamentali per la conservazione della diversità biologica (Clément, 2005).

NOTE
[1] Progetto per l'area del Vallone S. Rocco. La fabbrica dei fiori, in V. Magnago Lampugnani (a cura di), Sottonapoli. Idee per la città sotterranea, Electa, Milano 1988, pp. 104-113; con E. Vittoria, F. Trabucco, F. Lorenzelli.

REFERENCE
Gilles Clément (2005), Manifesto del Terzo paesaggio, Quodlibet.

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17673

WHAT IS NATURE IN A DENATURALISED CITY?

In his *Discorso di un italiano intorno alla poesia romantica*, originally published in Zibaldone in 1817 and later taken up in other collections, Leopardi asks «how to inhabit nature in a denaturalised world». This question is extremely relevant, especially in the urban context, where nature has been, and in some cases still is a hidden, excluded or marginal presence.
Climate and environmental challenges require increasingly diverse solutions and processes, reflecting a new urban habitability of nature.
This visual essay, starting from the outcomes of the call for photos "What nature in a denaturalized city?" promoted by SIdTA in 2024, analyzes the relationship between the anthropized environment and the natural environment, examining three fundamental aspects: first, how to re-integrate nature in a context that has excluded it; second, how to strengthen the link between man and nature; and, finally, how to rethink architecture with the natural context that welcomes it. The analysis is based on twelve photographs selected by a panel of judges consisting of Filippo Romano, professional photographer; Bartolomeo Di Chio, professor of General Arboriculture and Arboreal Crops at the University of Basilicata; Mario Losasso, president of the Italian Society of Architectural Technology; Elena Mussinelli, editor in chief of TECHNE; and Francesca Thiébat, TECHNE board member.
"Still Life" (Fig. 1) introduces an initial discussion of the importance of re-integrating nature into a context that has long overwhelmed it. The life cycle of organic matter is interrupted on the artificial concrete surface. In this way, Nicolo Tommaseo's poem in the caption reminds us that nature is to be appreciated and loved. The leaves on the ground, still alive from a botanical point of view, succumb to the artificiality of the context in which they are found, thus representing a stimulus that the author Andrea Campioli contrasts with the imperturbability of the artificial. On the opposite side, Filippo Oppimitti's "Vertical Farm in a Tunnel" (Fig. 2) shows a technological and experimental vision of nature, here presented as edible and valuable for a future in which 80 per cent of the world's population is expected to live in urban areas. The image, reminiscent of Marco Zanuso's underground Naples experiments of the 1970s and 1980s[1], also reminds us of the need to revitalise the often abandoned agricultural areas surrounding cities.
The beginning of a new balance between the anthropised and the natural environment is summed up in Rosaria Revellini's photograph, which depicts an uncertain but possible future. An imposing architecture hosts a climbing plant whose direction of growth is suggested by the metal elements of the façade (Fig. 3). "A nature, in turn, is 'constructed', thought out, designed, and therefore, in a certain sense, 'denatured' because it is no longer spontaneous". At the same time, Ilaria Pugliese's photograph suggests an almost obvious insight: long before the spread of 'designed' vertical greenery, there was a spontaneous vertical greenery to be respected and cared for, which lived together with people (Fig. 4).
The relationship between the human being and nature emerges in Luigi Vessella's photograph of a therapeutic garden that appears to be taken from the lawn, almost as if nature had an intrinsic capacity to take care of the person, respecting their emotional, psychological and physical needs (Fig. 5).
G. Manfrolini's photograph (Fig. 6), on the other hand, the tree becomes a mere architectural, compositional and metaphysical element. It introduces the third aspect of the visual essay questions: the relationship between architecture and nature.
The reservoir (Fig. 7), located almost in the centre of Krakow, was built after the flooding of an old limestone quarry. Elena Dziopak's photograph highlights the vulnerability of the natural context and emphasises the need for artificial structures to adapt to increasingly violent natural phenomena. At the same time, the photograph shows an attempt to tame nature through the superimposition of artificial and natural landscapes to generate well-being and increase the quality of life of the city's inhabitants.
Ilaria Pugliese's 'Reappropriations' series (Figs. 8, 9, 10) shows a disused industrial area where the abandoned structures have been gradually taken over by vegetation that is reappropriating the spaces. These images highlight a 'potential landscape' emerging in the often-neglected urban voids of cities: the stimulus is to imagine controlled, low-maintenance greening interventions by creating equipped urban parks that encourage the growth of native tree and shrub species. The series is part of a wider debate on the relationship between architecture, the 'right to the city' and the 'common good', promoting a participatory approach to the design and realisation of public space.
However, processes of urban renaturation often accentuate the contrast between architecture and nature. In Valerio Fonti's photographs, the vegetal element, "used exclusively as a purely decorative ornament on roofs or façades" (Fig. 11), contrasts with "a remnant of the Third Landscape, which, in its accidental survival in the urban fabric, manifests all its biological richness and diversity, offering a different perspective on the theme of greenery in our cities" (Fig. 12).
Spaces that vary in shape, size, and status, united only by the absence of human activity, yet collectively essential for the conservation of biological diversity (G. Clément, 2005).

NOTE
[1] Progetto per l'area del Vallone S. Rocco. La fabbrica dei fiori, in V. Magnago Lampugnani (ed.), Sottonapoli. Idee per la città sotterranea, Electa, Milano 1988, pp. 104-113; con E. Vittoria, F. Trabucco, F. Lorenzelli.

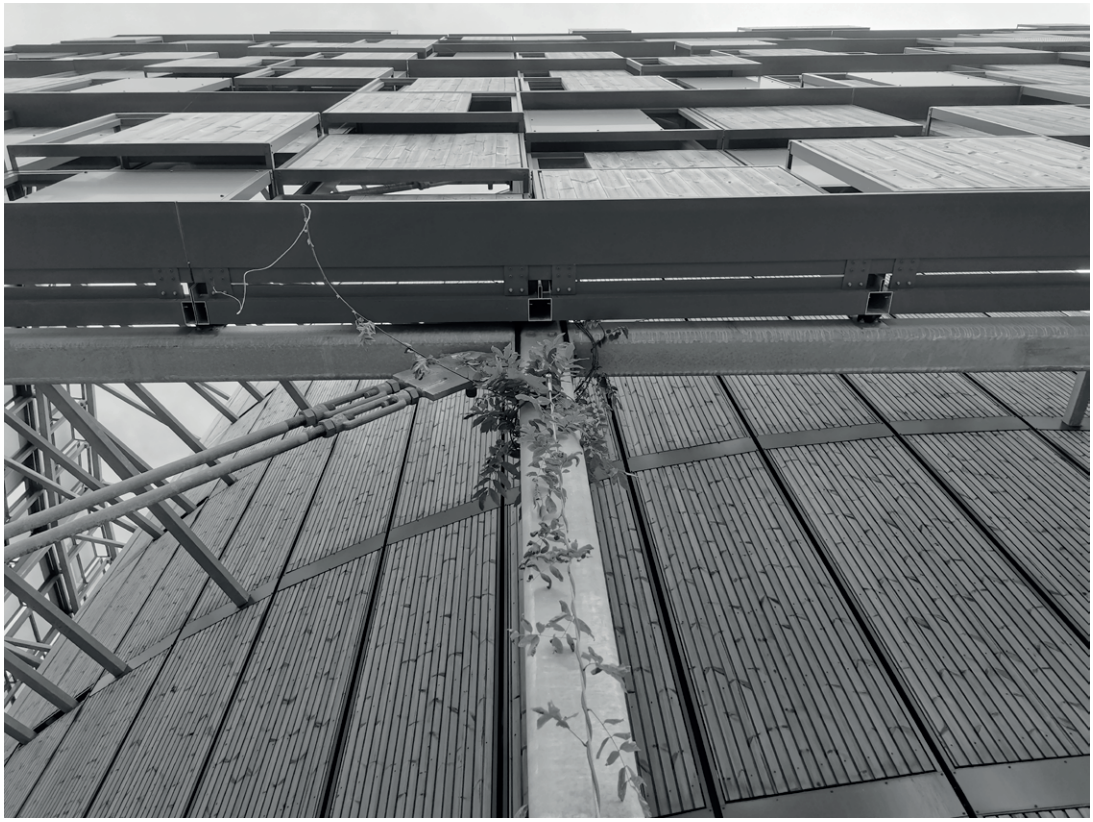
01 |

02 |

01 | Natura morta – Andrea Campioli, 2024
"Foglia, che lieve a la brezza cadesti
sotto i miei piedi, con mite richiamo
forse ti lagni perch'io ti calpesti.
Mentr'eri viva sul verde tuo ramo,
passai sovente, e di te non pensai;
morta ti penso, e mi sento che t'amo."
Still life – Andrea Campioli, 2024
"Leaf, that gently fell to the breeze
beneath my feet, with a soft call
perhaps you complain that I tread on you.
While you were alive on your green branch,
I often passed by, and thought nothing of you;
dead, I think of you, and feel that I love you."

02 | Vertical farm in un Tunnel – Filippo Oppimitti, 2024
La fotografia rappresenta il progetto "Tunnel farm" realizzato dalla start up "Vertical Farm Italia" a Torrita di Siena, all'interno di una galleria usata per secoli come magazzino e come rifugio dai bombardamenti aerei
Vertical farm in a Tunnel – Filippo Oppimitti, 2024
The photo shows the 'Tunnel farm' project realised by the start-up 'Vertical Farm Italia' in Torrita di Siena, inside a tunnel used for centuries as a warehouse and as a shelter from aerial bombardment

| 03



03 | Foglie – Rosaria Revellini, 2024
Un'architettura imponenente accoglie della vegetazione che quasi timidamente abbraccia gli elementi metallici verticali
Leaves – Rosaria Revellini, 2024
An imposing architecture welcomes the vegetation that almost shyly embraces the vertical metal elements

| 04

04 | Arrampicarsi – Ilaria Pugliese, 2024
Una facciata verde spontanea, curata, governata, vissuta dai fortunati abitanti di un altrimenti normale condominio milanese
Climbing – Ilaria Pugliese, 2024
A spontaneous green facade, tended, governed, and enjoyed by the lucky residents of an otherwise ordinary dwelling in Milan

05 |

05 | Giardino terapeutico – Luigi Vessella, 2024
Vivaio Mati 1909, Pistoia. Un giardino terapeutico per il trattamento dell'Alzheimer. Un esempio di come la natura possa dare beneficio anche in un ambiente urbano trascendendo i vantaggi ambientali
Therapeutic garden – Luigi Vessella, 2024
Mati Plant Nursery 1909, Pistoia. A therapeutic garden for Alzheimer's treatment. An example of how nature can bring benefits even in an urban environment, transcending environmental advantages

| 06

06 | Verde metafisico. Giovanni Manfolini, 2024. Roma
Metaphysical green – Giovanni Manfolini, 2024. Rome

| 07

07 | Parco e piscina Zakrzowek, Cracovia, Polonia – Elena Dziopak 2024
Bacino artificiale quasi nel centro di Cracovia, creato dopo l'allagamento di una vecchia cava di calcare e dopo la rivitalizzazione trasformato in un parco paesaggistico unico di oltre 50 ettari
Zakrzowek park and swimming pool, Krakow, Poland – Elena Dziopak 2024
Artificial reservoir almost in the Krakow 's centre, created after flooding an old limestone quarry and after revitalisation transformed into unique landscape park of over 50 hectares

08 |

08 | Riappropriazioni – Irene Peron, 2024
Presidio industriale in abbandono invaso da vegetazione spontanea: dettaglio delle campate della struttura. Porto Marghera, Venezia. Area Complessi, Canale Industriale nord
Reappropriations – Irene Peron, 2024
Abandoned industrial complex overgrown by spontaneous vegetation: detail of the structures. Porto Marghera, Venice. Complessi Area, North Industrial Canal

09 | Riappropriazioni – Irene Peron, 2024
Lo scheletro del magazzino di stoccaggio diventa supporto per nuove pareti verdi spontanee. Porto Marghera, Venezia. Area Complessi, Canale industriale nord

Reappropriations – Irene Peron, 2024
The skeleton of the warehouse becomes a holder for new spontaneous green walls. Porto Marghera, Venice. Complessi Area, North Industrial Canal

10 | Riappropriazioni – Irene Peron, 2024
Il rinverdimento avanza colmando i vuoti lasciati dalle materie prime un tempo stoccate nella struttura. Porto Marghera, Venezia, Area Complessi Canale industriale nord

Reappropriations – Irene Peron, 2024
The greening fills the voids left by the materials once stored in the structure. Porto Marghera, Venice, Complessi Area, North Industrial Canal.

11 |

11 | Trudo Vertical Forest, Eindhoven (Olanda) – Valerio Fonti, 2024
Spazi gestiti dall'uomo: diversità specifica ridotta o nulla, spazi mantenuti artificialmente tramite energia contraria, endemismo minimo o nullo (Clement, 2004)
Trudo Vertical Forest, Eindhoven (Netherlands) – Valerio Fonti, 2024
Spaces managed by humans: reduced or no specific diversity, areas artificially maintained through opposing energy, with minimal or no endemism (Clément, 2004)

12 |

12 | Lotto abbandonato, Eindhoven (Olanda) – Valerio Fonti, 2024
In ambito urbano i residui corrispondono a terreni in attesa di una destinazione o in attesa dell'esecuzione di progetti sospesi per ragioni finanziarie o di decisione politica (Clement, 2004)
Abandoned plot, Eindhoven (Netherlands) – Valerio Fonti, 2024
In urban areas, fragments are land that is awaiting a destination or the realisation of projects that have been suspended for financial or political reasons (Clément, 2004)

Tree Hubs. La città sostenibile e il progetto di giardini e foreste urbane circolari. Il caso Olandese

Chiara Pradel
Faculty of Architecture and the Built Environment, TU Delft, The Netherlands
c.pradel@tudelft.nl

Abstract. In linea con l'ambizione di contrastare il cambiamento climatico e ridurre le emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030, l'UE si è impegnata a piantare 3 miliardi di alberi in tempi brevi (EU Forest Strategy, 2021). A livello internazionale, numerose città hanno avviato estesi programmi di riforestazione e iniziative di rinverdimento urbano. Sulla base di queste premesse, il presente articolo esamina il fenomeno emergente dei Tree Hubs, dove piante e alberi indesiderati possono essere collocati dopo essere stati spostati dal sito d'origine e prima del trapianto in un nuovo terreno, con particolare attenzione al caso studio dei Paesi Bassi.

Parole chiave: *Tree Hubs*; Gestione circolare del verde; Città circolari.

Le *Nature-Based Solutions* e l'iniziativa dei tre miliardi di alberi

Per implementare un'economia circolare e favorire la transizione ecologica sono necessarie misure volte a limitare l'impatto ambientale antropico, a conservare le risorse naturali, a sostenere la biodiversità e, in generale, a riutilizzare beni e prodotti il più a lungo possibile, riducendo i rifiuti destinati alle discariche e il *carbon footprint* (European Circular Economy Action Plan, 2020).

Da un lato, ci si indirizza verso azioni che possano mitigare l'impatto del settore delle costruzioni, dell'energia, dei trasporti, e della produzione industriale. Dall'altro, si implementano pratiche che rimuovano a posteriori, nelle fasi post-emissione, l'anidride carbonica dall'aria e dagli oceani, utilizzando sia soluzioni tecnologiche che basate sulla natura. A tal proposito, le cosiddette *Nature Based Solutions* (NBS) – che comprendono il ripristino di ecosistemi degradati, la gestione e l'implementazione di aree verdi, l'attuazione di nuove piantagioni e di processi di riforestazione – dovrebbero contribuire circa al 20% della riduzione dei livelli di CO_2 richiesta entro il 2050 (Griscom *et al*., 2017).

Nonostante emergano dubbi relativi alla durata e qualità degli effetti di nuove piantagioni, ad esempio esaminando il riscaldamento del pianeta collegato all'albedo (Bright *et al.,* 2015), secondo il World Economic Forum alberi e foreste restano tra i serbatoi naturali di anidride carbonica più efficaci e ad alto potenziale, e costituiscono una componente fondamentale nella lotta al cambiamento climatico. La piantumazione di alberi in contesti urbani può generare inoltre ulteriori benefici, oltre all'assorbimento della CO_2, contribuendo alla regolazione climatica degli ecosistemi urbani, al raffreddamento delle temperature e al miglioramento della salute e del benessere dei cittadini (Dobbs *et al*., 2017). L'accesso a spazi verdi urbani è considerato, non a caso, un diritto umano fondamentale ed è incluso nell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile[1].

In linea con l'ambizione di ridurre le emissioni di almeno il 55% e di integrare la visione strategica per la rigenerazione urbana con programmi efficaci basati sulla natura, l'UE si è recentemente impegnata ad aumentare significativamente gli spazi vegetati e implementare la manutenzione degli stessi, piantando almeno tre miliardi di alberi in Europa entro il 2030.

Piani per il verde urbano: lo sviluppo di strategie di rinverdimento nello scenario internazionale

Conformemente agli obiettivi contenuti nel *EU Biodiversity Strategy 2030*, diverse capitali e regioni europee stanno avviando o consolidando piani per il verde urbano. Ad esempio, la città di Barcellona ha adottato il "Pla del Verd i de la Bioriversitat" (2013-2020), ora evoluto nel "Pla Natura 2030", Londra il "Biodiversity Action Plan 2021–2026", Berlino il "Strategie Stadtlandschaft Berlin 2012-2050",

Tree Hubs: The city as a sustainable scenario of circular gardens and forests. The case of the Dutch Region

Abstract. In line with the ambition to combat climate change and reduce greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030, the EU has recently committed to planting 3 billion trees (see the EU Forest Strategy, 2021). On a global level, a number of cities have implemented reforestation programmes and urban greening initiatives. Within the framework of this vast and urgent commitment, the paper examines the emerging phenomenon of Tree Hubs, where unwanted trees and plants can be placed after harvesting and before replanting, with a particular focus on The Netherlands.

Keywords: Tree hubs; Circular green management; Circular cities.

Nature-based solutions and the Three Billion Trees initiative

Implementing a circular economy in the city and facilitating the transition to sustainability often involves measures aimed at reducing environmental impact, conserving natural resources, supporting biodiversity, and reusing goods and products for as long as possible to decrease waste disposed in landfills and carbon footprint (see the European Circular Economy Action Plan, 2020).

Efforts are directed towards actions designed to mitigate the impact of human activities in construction, energy, transportation, and industrial sectors. Another approach to decarbonisation involves improving the removal of carbon from the air and oceans by controlling CO_2 in the post-emission phases, using both natural and technological climate solutions. In this regard, the so-called nature-based solutions (NBS), which focus also on the restoration, management, and implementation of wetlands, grasslands, plants, and reforestation processes, are expected to contribute about 20% of the mitigation required between now and 2050 (Griscom *et al*., 2017). Despite questions regarding durability and quality of the effect of new plantations, for example regarding global warming in relation to the albedo (Bright *et al.,* 2015), according to the World Economic Forum, trees and forests remain among the most cost-effective carbon sinks with the highest potential, and constitute an important part of the climate change solution. Moreover, tree planting in urban contexts can generate a wide range of services in addition to carbon capture, such as cooling the cities, helping regulate ecosystems, and improve our health and well-being (Dobbs *et al*., 2017). Additionally, access to urban green spaces has been conceptualised as a basic human right, and has been

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16645

01 | Place de Catalogne, Paris, nuova foresta urbana. Foto Florence Piot
Place de Catalogne, Paris, new urban forest. Photo Florence Piot

Lisbona il "Strategic Charter 2010–2024" e il "Biodiversity Project Lisbon 2020", mentre Parigi ha definito nel 2018 un "Plan Biodiversité", successivamente esteso fino al 2030. Proprio questa città intende infatti dotarsi di 170000 nuovi alberi entro il 2026, mentre a giugno 2024, in Place de Catalogne, è stata inaugurata la prima "foresta urbana", che si estende su oltre 4000 metri quadrati (Fig. 1). Similmente, il comune di Atene sta realizzando, a partire dal 2021, diversi *pocket parks* (si veda, a tal proposito, anche il progetto per settantadue "15-minutes-parks" a Bangkok), principalmente per migliorare il benessere urbano, per abbassare le temperature e rinfrescare l'aria, in una città dove le temperature arrivano a superare i 40 gradi Celsius. Nuove piantumazioni e processi di rinverdimento vengono diffusamente promossi a livello globale, non solo in Europa, e in differenti contesti geo-climatici. In Africa, ad esempio, paesi come l'Etiopia (si veda l'iniziativa "Green Legacy", 2019) e il Ghana ("Green Ghana Project, 2021") sperimentano programmi per rimediare alla severa perdita di copertura forestale, contrastando tra l'altro una sistemica carenza di politiche ambientali, di iniziative condivise con la comunità, di piani organici di gestione e mantenimento del verde (Lemenih and Kassa, 2014).

Neutralità climatica e verde urbano nel contesto olandese

Esaminando le politiche climatiche dei Paesi Bassi, dove nell'ultimo decennio è stata registrata una importante diminuzione delle aree boschive[2], va considerato come punto di svolta la sentenza del tribunale dell'Aia nel 2020 (Backes and van der Veen, 2020). A seguito di questa decisione, infatti, il governo olandese è stato sollecitato a rispettare gli accordi stipulati a livello europeo in merito al raggiungimento della neutralità climatica, a soddisfare gli obblighi stabiliti dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e a ridurre quindi le proprie emissioni di gas serra del 40% entro la fine del 2030, rispetto ai livelli del 1990.

Tra le iniziative più significative, le sette "climate-neutral and smart cities" dei Paesi Bassi, ovvero Amsterdam, Rotterdam, L'Aia, Utrecht, Groningen, Eindhoven e Helmond, si sono impegnate a sostenere il processo di decarbonizzazione nel settore delle costruzioni per renderlo completamente circolare, a catturare CO_2, ridurre l'effetto delle isole di calore urbane (UHI) e migliorare significativamente sia la quantità che la qualità degli spazi verdi urbani e la loro biodiversità.

Tra gli altri, i piani di Amsterdam e Utrecht indirizzano queste città, che partivano da un numero relativamente basso di alberi pro capite[3], verso un cambiamento strutturale in ambito della gestione del verde e delle piantumazioni urbane. In particolare, la "Amsterdam Green Infrastructure Vision 2050" fornisce un ampio quadro di possibili aree d'intervento multi-scalare. Da un lato sono supportate azioni anche minime–come il testare micro giardini galleggianti per i canali o il rinverdimento

mentioned in the United Nations Sustainable Development Goal[1].

In line with the ambition to reduce emissions by at least 55% and to integrate the strategic vision for city regeneration with effective, nature-based programmes, the EU has recently committed to significantly increase tree seedling and maintenance, and to plant at least three billion trees in Europe by 2030.

Urban Greening Plans: the development of greening strategies in the international scenario

Following the goals contained in the EU Biodiversity Strategy for 2030, various European capitals and regions are implementing and reinforcing urban greening plans. The municipality of Barcelona, for example, adopted the "Pla del Verd i de la Bioriversitat" (2013-2020), now evolved into the "Pla Natura 2030", London the Biodiversity Action Plan 2021–2026, Berlin the "Strategie Stadtlandschaft Berlin 2012-2050", Lisbon the *Strategic Charter 2010–2024* and the *Biodiversity Project Lisbon 2020*, while Paris defined a "Plan Biodiversité" in 2018, with its timeline recently extended to 2030. This city aims to plant 170,000 new trees by 2026, while in June 2024 the first "urban forest" was inaugurated in Place de Catalogne, featuring a reforestation process spanning over 4,000 square metres (Fig. 1). Similarly, since 2021 Athens municipality is developing "pocket parks" (see also the project for seventy-two "15-minutes-parks" in Bangkok), primarily to improve urban well-being, to lower temperatures and cool the air in a city where temperatures can exceed 40 degrees Celsius during a heatwave.

New plantings and greening processes are widely promoted globally, in Europe and in different geo-climatic contexts. In Africa, for example, countries like Ethiopia (see the Green Legacy Initiative, 2019) and Ghana (Green Ghana Project, 2021) establish programmes to restore the severe loss of forest cover, addressing a longstanding and systemic scarcity of green policies, of community-shared projects and green plans (Lemenih and Kassa, 2014).

Climate neutrality and urban greening in the Dutch context

Examining the climate policies in the Netherlands, where in the last decade a significant decrease in woodlands had become evident[2], a turning point for change was marked by the court ruling of the The Hague in 2020 (Backes and van der Veen, 2020). Following this decision, the Dutch government was urged to commit to adhering to agreements made at the European level to meet the obligations established by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), and to reduce its greenhouse gas emissions by 40% by the end of 2030, compared to 1990 levels.

Besides several significant initiatives, the seven Dutch "climate-neutral and smart cities", namely Amsterdam, Rotterdam, The Hague, Utrecht, Groningen, Eindhoven, and Helmond, have set the objective of decarbonising the construction sector to make it fully circular by 2050, capture CO_2, reduce the urban heat island effect (UHI), and significantly enhance both the quantity and quality of green urban spaces and biodiversity.

Among other strategic visions, the plans in Amsterdam and Utrecht focus on a structural change in the management of greenery and urban planting,

02 | Viale alberato nella parte est di Utrecht, 2024. Foto Chiara Pradel
Street trees in eastern Utrecht, 2024. Photo Chiara Pradel

verde/blu di tetti, la sostituzione di pavimentazioni dure (*depaving*) con suolo permeabile, gli incentivi ai privati per piantare nuovi alberi–da integrare in un sistema di infrastruttura verde/blu più ampio. Dall'altro, il programma mira ad aumentare significativamente la presenza e le dimensioni di parchi, foreste e boschi urbani, promuovendone lo sviluppo e la manutenzione.
Anche la città di Utrecht ha adottato un piano strategico ("Groenstructuurplan 2017-2030"), che si concentra sul verde urbano e sugli alberi. Tra l'altro, questo prevede l'espansione del verde in città per 440 ettari (circa 900 campi da calcio) e la piantumazione di 600000 nuovi alberi[4]. Unitamente al comune di Zwolle, Utrecht inoltre è diventato uno dei primi comuni nei Paesi Bassi a impegnarsi a rispettare lo standard 3-30-300[5] (Konijnendijk, 2022), con risultati che sono oggi apprezzabili ad esempio osservando le dense alberature lungo i canali e le strade della città (Fig. 2).

Approcci *bottom-up* alle sfide climatiche e ambientali: il caso dei Tree Hubs

I piani per il verde urbano e i programmi operativi legati all'espansione di aree alberate implicano impegni sostanziali, non solo dal punto di vista economico[6], e hanno un impatto strutturale profondo a livello gestionale. L'efficacia delle infrastrutture verdi e blu richiede infatti lo sviluppo di «una governance complessiva capace di coinvolgere molteplici soggetti amministrativi [...] con ruoli complementari, al fine di tradurre gli obiettivi generali di resilienza eco-territoriale in azioni pratiche e immateriali» (Mussinelli *et al*., 2018) e impone di affrontare potenziali carenze, come la mancanza di piani di gestione, responsabilità poco chiare o indefinite, partecipazione insufficiente, condivisione inadeguata degli obiettivi e valutazione ambigua dei costi/benefici (Riedman *et al*., 2022).
Il ruolo proattivo svolto da attori locali non convenzionali, come gruppi civici, ONG o associazioni di volontari, è particolarmente importante in questo senso. Investigando il potenziale insito nelle collaborazioni tra gruppi della società civile e organizzazioni più consolidate–come accade nel contesto olandese in cui politiche verticali si allineano frequentemente con una governance di tipo orizzontale, stimolando una autonomia sociale e creando opportunità per processi spontanei e partecipativi (Mens *et al*., 2021) – Buitelaar *et al.* (2017) si riferiscono all'idea di "organic planning practices" e Buijs *et al.* (2016) ad una "mosaic governance".
In questo senso, il fenomeno dei Tree Hubs è esemplare. Organizzazioni quali "MEERGroen" o "Meer Bomen Nu" si basano infatti sul metodo sviluppato oltre un decennio fa dall'ecologo olandese Franke van der Laan, secondo il quale i terreni a riposo e i campi incolti possono servire come depositi temporanei, dove le piante possono essere conservate dopo la raccolta e prima del reimpianto. Tali depositi possono essere concepiti come una sorta di "banca degli alberi" che faciliti le nuove piantagioni o la manutenzione del verde esistente, supportando anche i processi messi in atto da diverse altre NBS.
Sotto diversi aspetti, presentano somiglianze con i *Circular Hubs* o *Urban Mining Hubs*, dove i materiali di scarto possono essere recuperati, lavorati e riutilizzati come risorse secondarie. Invece dei materiali da costruzione, tuttavia, i Tree Hubs ospitano specie vegetali che possono essere rimosse (tipicamente da novembre a marzo), ad esempio da un'area incolta come le scar-

starting from a relatively low number of trees per inhabitant[3]. In particular, the ambitions shared in the "Amsterdam green infrastructure vision 2050" provides a comprehensive framework of possible multi-scale areas of intervention. Even minimal actions – such as testing small floating gardens or green-blue roofs, replacing hard paving (depaving) with vegetation, or offering incentives for private citizens to plant trees – are supported to be integrated into a broader green/blue infrastructure system. Moreover, intervening on a larger scale, the vision aims to increase the presence and size of parks, urban forests, and woodlands, promoting their development and maintenance.
The city of Utrecht has also adopted a strategic plan, the Green Structure Plan 2017-2030, which places significant emphasis on urban greenery and trees. Among other things, the plan includes the expansion of greenery in the city by 440 hectares (approximately 900 football fields) and the planting of 600,000 new trees[4]. Additionally, along with the municipality of Zwolle, Utrecht has become one of the first municipalities in The Netherlands to commit to the 3-30-300 standard[5] (Konijnendijk, 2022), with results that are now noticeable, for example, by observing the dense tree lines along the canals and streets of the city (Fig. 2).

Bottom-up approaches to climatic-environmental challenges and the rise of tree hubs

Multi-faceted and integrated initiatives have underscored the pressing operational need to expand tree-covered areas in both public and private domains. This endeavour necessitates substantial efforts, not only from an

02

03 | Volontari di Meer Bomen Nu all'opera. Foto Sandra Peerenboom, courtesy Meer Bomen Nu
Volunteers of Meer Bomen Nu. Photo Sandra Peerenboom, courtesy Meer Bomen Nu

04 | Tree Hub in Utrecht, Maarssen, 2024. Foto Chiara Pradel
Tree Hub in Utrecht, Maarssen, 2024. Photo Chiara Pradel

| 03

| 04

pate ferroviarie o da un terrapieno, da un cantiere o da un parco urbano (Fig. 3). Gli alberi (solitamente di piccolo diametro e altezza compresa tra 0,5 e 2 metri) possono essere quindi conservati, per brevi periodi, fuori dal terreno o in vasi, oppure possono essere piantati nell'*hub* e successivamente rimpiantati sia nel sito di origine, che altrove. Tali luoghi di raccolta possono avere forme e dimensioni diverse, spaziando da *hubs* di circa 10 metri quadrati a giardini collettivi di medie dimensioni, fino ad ettari di terra in aziende agricole, a parchi pubblici e boschi urbani.

Due casi di Tree Hubs, Utrecht e Amsterdam

Basandosi su osservazione diretta, sopralluoghi e interviste, sovrapposte a dati forniti dai report delle associazioni coinvolte e dalla letteratura esistente, emergono alcune caratteristiche che possono essere sintetizzate attraverso il confronto di due tipologie di *hubs*.
I centri di piccole e medie dimensioni, come un Tree Hub attivo alla periferia della città di Utrecht (Fig. 4), sono gestiti principalmente da volontari (in questo caso due persone). In alcuni periodi, spazi e materiali possono essere messi a disposizione per attività educative, *workshop* o sessioni di formazione gratuita. Il giardino-*hub* osservato ospita una varietà di specie vegetali sia all'aperto (Fig. 5) che al chiuso ed è affiancato da un piccolo parco creato con piante raccolte nel corso degli anni. Esemplari che normalmente vengono scartati sia da privati che da terreni pubblici, diventano protagoniste in questo lotto, che, seguendo la definizione poetica e politica di Naomi Milthorpe, potrebbe essere descritto come una sorta di "Giardino dell'Austerità" (Milthorpe, 2019), dove la raccolta di acque piovane riduce la necessità di fornire acqua potabile. Un'economia diversa, basata sul riuso, sullo scambio e sulla circolarità, ridefinisce qui i principi del dare e del prendere, della condivisione delle conoscenze e della cura dell'ambiente, sfidando il paradigma dominante "'take-make-waste". L'area verde è aperta al pubbli-

economic standpoint[6], as it entails a profound and structural transformation in organisational frameworks as well. The effectiveness of green and blue infrastructure related interventions implies the need «to develop an overall governance capable of involving multiple administrative subjects […] with complementary roles, in order to translate the general goals of eco-territorial resilience into practical and intangible actions» (Mussinelli *et al.*, 2018), and to address potential shortcomings, such as the lack of management plans, unclear or undefined responsibilities, insufficient participation, inadequate sharing of objectives, and ambiguous benefit-sharing arrangements (Riedman *et al.*, 2022).
The proactive role played by non-conventional local actors, such as civic groups, NGOs or associations composed of citizens and volunteers, is particularly important in this context. Investigating the potential of collaborations between civil society groups and more established organisations – as occurs in the Dutch context, where vertical policies frequently align with horizontal governance, stimulating social autonomy and creating opportunities for spontaneous and participatory processes (Mens *et al.*, 2021) – Buitelaar *et al.* (2017) refer to the idea of "organic planning practices", and Buijs *et al.* (2016) to a "mosaic governance".
The concept of tree hubs is gaining significant prominence within this framework. Community-led organisations, such as "MEERGroen" or "Meer Bomen Nu", apply the method developed by ecologist Franke van der Laan over a decade ago, according to which lands set aside and fallow fields can serve as temporary repositories, where plants can be freely stored after harvesting and before replanting. Such temporary storages may be conceived as "tree banks" that facilitate new plantings or the maintenance of existing green spaces, also supporting the processes implemented by various other NBS. In many ways, they bear similarities to circular hubs, or urban mining hubs, where waste materials can be recovered, processed, and reused as secondary resources, to minimise environmental impact resulting from the carbon-intensive production of materials.
However, instead of construction materials, tree hubs host plants that can be removed (mainly from November to March), for example, from a site being developed, from a mound or a railway embankment, from a construction site, or from an urban park or forest (Fig. 3). Trees (typically with a small diameter and spanning between 0.5 to 2 metres high) can be temporarily stored for short periods either out of the ground or in pots, or they can be planted in the hub and later replanted either in the same site or elsewhere. The collection sites can have different shapes and sizes, ranging from small hubs of about 10 square metres, to medium-sized community gardens, to acres of land on a farm, to public parks and urban woods.

Two cases of tree hubs in Utrecht and Amsterdam

Through direct observation, site visits and interviews overlaid with data provided by reports from the involved associations and existing literature, some characteristics emerge and can be summarised through the comparison of two types of hubs. Small to medium-sized hubs, such as a tree hub active in the outskirts of the city of Utrecht,

05 | Tree Hub in Utrecht, Maarssen, dettaglio. Foto Chiara Pradel
Tree Hub in Utrecht, Maarssen, detail. Photo Chiara Pradel

co su base settimanale, ha un design necessariamente frugale ma accogliente, e un carattere "incompiuto" che la distingue dal contesto urbano, e crea una sensazione di curiosità e sorpresa. In un contesto nel quale progetti strategici "green" giocano un ruolo cruciale in diversi quartieri (vedi ad esempio i Piani Verdi di Distretto o "Wijkgroenplans"), e una serie di iniziative locali–quali la riforestazione di ampie superfici in periferia e la sostituzione e implementazione degli alberi stradali–hanno luogo periodicamente, un hub di questa scala può efficacemente integrarsi in diversi processi, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi sia di quartiere che provinciali e impattando sulla qualità di vita dei residenti.

Il secondo caso si trova ad Amsterdam, precisamente all'interno dell'Amsterdamse Bos, una foresta descritta da Anne Whiston Spirn come un "esperimento" di bosco antropico, iniziato nel 1929 (Spirn, 1984:196). L'iniziativa prevedeva infatti la piantumazione di numerose specie pioniere a crescita rapida alternata ad alcune specie forestali, disposte su mille acri di terreno scarsamente drenato di un *polder*. Simili foreste urbane sono diventate un esempio storico di successo, secondo Spirn, di come "una comunità vegetale più diversificata con meno specie indesiderate si sviluppi più facilmente su suoli poveri" e di come "i residenti locali siano una potenziale fonte di manodopera per la manutenzione durante il periodo cruciale dell'instaurazione del paesaggio" (Spirn, 1984: 197). Nel 2020, un'iniziativa guidata dalle fondazioni *MeerGroen*, *Caring Farmers*, e *Urgenda*, insieme all'iniziativa dell'attivista Hanneke van Ormondt, ha portato alla creazione di un hub dove centinaia di esemplari sono stati trapiantati in collaborazione con *Meer Bomen Nu* (Boztas, 2021). Questo evento ha introdotto pratiche di piantagione e raccolta che sono ancora oggi operative. Nuovi esemplari sono stati piantati infatti all'interno del parco, dando vita a una "foresta edibile" attualmente accessibile ai visitatori, offrendo uno spazio aperto semplice ma di alta qualità con un budget molto limitato (Fig. 6). Allo stesso tempo, per prevenire l'eccessiva crescita della foresta e per aumentare la varietà delle specie presenti, le piantine, arbusti e alberelli che non sono utili e che andrebbero eradicati, possono essere periodicamente raccolti da coordinatori e gruppi di volontari[7] e ricollocati direttamente in luoghi diversi o negli hubs. Gli alberi raccolti sono prevalentemente autoctoni e sono sempre distribuiti in un mix diversificato di altofusti e arbusti, seguendo palette di piantagione variegate per garantire il mantenimento della resilienza ecologica e implementare la biodiversità. Il monitoraggio e la valutazione dei processi di riforestazione dimostrano infatti che i sistemi di specie miste a crescita più lenta vivono più a lungo, sono significativamente più efficaci e stabili nel tempo rispetto alle monocolture (spesso di eucalipto, pino o pioppo) e sono riserve di CO_2 nettamente più performanti (Lalasia Bialic-Murphy *et al*., 2024; Warner *et al*., 2023).

L'impatto dei Tree Hubs

In sintesi, possono essere identificati diversi fattori preliminari chiave per lo sviluppo e l'efficacia dei Tree Hubs:

– originando da un'iniziativa *bottom-up*, gli hubs hanno ricevuto il supporto di fondazioni *no-profit* e aziende private e hanno stabilito partenariati con enti pubblici a livello nazionale (Ministero dell'Agricoltura, della Natura e della Qualità Alimentare), provinciale e locale (comuni di Amsterdam, Schagen, Hof van Twente, ecc.),

05 |

(Fig. 4), are primarily managed by volunteers (in this case, two people). In some periods, spaces and materials can be provided for educational activities, workshops, or training sessions. The garden-hub hosts a variety of both outdoor and indoor plant specimens (Fig. 5), and is flanked by a small park created with plants collected over the years. Plants that are normally discarded both by private citizens and public lands become the protagonists in this plot, which, following the poetic and political definition by Naomi Milthorpe, could be seen as a sort of "Austerity Garden" (Milthorpe, 2019), where rainwater and stormwater harvesting reduces the need to provide drinking water. In this site, a different economy, based on reuse and circularity, redefines the principles of giving and taking, of sharing knowledge and taking care of the environment, challenging the dominant "take-make-waste" paradigm. The green area is open to the public on a weekly basis, has a necessarily frugal but welcoming design, and an "unfinished" character that distinguishes it from the urban context, creating a feeling of curiosity and surprise. In a strategic framework where greenery projects play a crucial role across various districts (see for example the District Green Plans or *Wijkgroenplans*), and a number of greening initiatives–from the reforestation of large areas on the city outskirts to the replacement and implementation of street trees–are taking place, a hub of this scale can engage with diverse site-specific activities, help to fulfil local and provincial goals, and contribute to the residents' quality of life.

The second case is located in Amsterdam, specifically within the Amsterdamse Bos, a man-made forest

06 | Piantagione della nuova foresta edibile nell'Amsterdamse Bos, Amsterdam, 2024. Foto Chiara Pradel
Plantation in the Amsterdamse Bos, Amsterdam, 2024. Photo Chiara Pradel

| 06

– il successo di queste attività si basa sulla partecipazione di volontari, sul crowd-sourcing e sull'istituzione di una rete guidata da coordinatori tecnici a livello locale o provinciale,
– la possibilità di monitorare i risultati e di diffondere (via social, *web*, stampa locale) i dati riguardanti i siti di raccolta, stoccaggio e distribuzione, riduce i costi e minimizza il divario temporale tra la raccolta e la nuova piantagione.

In particolare facendo riferimento, tra gli altri, agli standard per la progettazione e la valutazione fornite dall'*International Union for the Conservation of Nature* (IUCN 2020) emergono alcune caratteristiche chiave che possono essere sintetizzate e che, come indicato da Dorst *et al.* (2019), riguardano prevalentemente e simultaneamente aspetti sociali, economici e ambientali. Gli hubs affrontano sfide che impattano sul benessere sociale, in quanto:
– adottano un approccio inclusivo (idealmente, chiunque può partecipare),
– promuovono la coesione sociale
– migliorano la connessione tra persone e natura.

Dal punto di vista economico:
– sono sostenibili, si basano sulla distribuzione gratuita o a bassissimo costo di alberi e piante in contesti urbani, e riducono eventuali costi di utilizzo di vivai pubblici o privati,
– facilitano potenziali sinergie tra enti privati e pubblici.

In termini ambientali, i Tree Hubs:
– identificano ogni albero come un potenziale contributo ad una soluzione naturale per assorbire anidride carbonica,
– propongono strategie per la conservazione dinamica e la gestione circolare degli alberi, accrescendo la consapevolezza in tema di gestione e manutenzione del verde,
– facilitano l'approvvigionamento rapido e lo scambio di alberi,
– supportano la conservazione della biodiversità nei progetti di riforestazione,
– sono radicati a livello locale e garantiscono l'idoneità delle specie nel contesto paesaggistico in cui si trovano, rispettando le caratteristiche climatiche e ambientali del sito d'intervento e minimizzando i trasporti.

Dopo pochi anni dagli esperimenti iniziali, è possibile osservare lo sviluppo di reti di hubs sia locali che sovralocali, che convalidano un modello potenzialmente replicabile, superando gli obiettivi iniziali. Secondo *MeerBomenNu*, nei Paesi Bassi infatti sono stati trapiantati più di due milioni di esemplari (tasso di sopravvivenza superiore al 70%), attualmente si possono mappare circa 200 hubs, mentre sono coinvolti più di 7500 volontari. Il progetto si sta espandendo rapidamente in Europa, ad esempio nel Regno Unito, in Irlanda, in Germania e in Francia.

described by Anne Whiston Spirn as an "early experiment" initiated in 1929 (Spirn,1984:196). It involved planting numerous fast-growing pioneer plants and some forest species on one thousand acres of poorly drained land reclaimed from water. Similar urban forests became a successful historical example, according to Spirn, of how "a more diverse plant community with fewer undesirable plant species develops more readily on infertile soil" and how "local residents are a potential source of maintenance manpower during the crucial period of landscape establishment" (Spirn,1984:197). In 2020, an initiative led by the MeerGroen Foundation, Caring Farmers, and Urgenda, along with the innovative management by activist Hanneke van Ormondt, resulted in the creation of a hub where hundreds of specimens were transplanted in collaboration with Meer Bomen Nu (Boztas, 2021). This event introduced planting and harvesting practices that are still operational today. New specimens have been planted within the park, giving rise to an "edible forest" that is currently accessible to visitors, offering a simple yet high quality open space on a very tight budget (Fig. 6). At the same time, to prevent the forest from becoming overgrown, and to increase the variety of species present in the woodland, seedlings that cannot find space or are not useful are periodically harvested by coordinators and groups of volunteers[7], who then relocate them to different places or hubs.

The trees harvested and replanted are predominantly native and are always distributed in a diverse mix of both trees and shrubs, establishing diverse planting palettes to ensure that ecological resilience is maintained. Monitoring and evaluation processes of reforestation efforts have revealed that mixed plant systems of slower-growing species live longer and grow larger, are significantly more stable over time compared to monocultures (often eucalyptus, pine, or poplar), and are definitely more effective in terms of carbon sequestration (Lalasia Bialic-Murphy *et al.*, 2024; Warner *et al.*, 2023).

The impact of tree hubs

In summary, several preliminary factors for the development and effectiveness of tree Hubs can be identified:
– originating from a bottom-up initiative, the hubs have received the support of non-profit foundations and private companies, and have established partnerships with public entities at national (Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality), provincial, and local levels (municipalities of Amsterdam, Schagen, Hof van Twente, etc.);
– the success of these activities relies on the participation of volunteers, crowd-sourcing, and the establishment of a network led by technical coordinators at the local or provincial level;
– precise monitoring of outcomes and the dissemination of data regarding collection, storage, and distribution sites reduces costs and minimises the time gap between harvesting and new plantation.

In particular, referring, among others, to the standards for design and evaluation provided by the International Union for the Conservation of Nature (IUCN 2020), certain key characteristics emerge and can be summarised. They predominantly and simultaneously concern social, economic, and environmental aspects (Dorst *et al.* 2019).

Mentre una progettualità urbana *top-down*, o esclusivamente verticale, può favorire una prospettiva economica convenzionale, queste iniziative informali e bottom-up si concentrano sull'esplorazione di metodi diversi, potenziando un approccio proattivo e dinamico, promuovendo una sorta di "communal craftsmanship" tra le persone coinvolte, insieme ad una maggiore consapevolezza e partecipazione verso gli obiettivi climatici indicati sia a livello europeo che nazionale.

NOTE

[1] Obiettivo 11, paragrafo 11.7. https://www.globalgoals.org/goals/11-sustainable-cities-and-communities/.

[2] Nel 2023 sono stati persi 438 ettari di foreste naturali rispetto alla situazione registrata nel 2010, https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/NLD/.

[3] La *Cobra Bomen Monitor map* indica 0.5 alberi pro capite a Utrecht e 0.3 alberi pro capite ad Amsterdam nel 2017.

[4] La provincia di Utrecht ha recentemente approvato la piantumazione di ulteriori 700000 alberi entro il 2027.

[5] La "regola 3-30-300" prevede la presenza di almeno 3 alberi altofusto visibili da ogni casa, scuola e luogo di lavoro; il raggiungimento di una copertura arborea del 30% in ogni quartiere; una distanza dal luogo di residenza al più vicino spazio verde pubblico che non superi i 300 metri.

[6] I costi stimati dalla EU per processi di riforestazione nel 2020, inclusa preparazione del suolo, piantagione e mantenimento per i primi 15-20 anni, sono compresi tra i 2232 e i 2594 €/ha per una densità di 1500 alberi/ha (Commissione Europea, 2021).

[7] Il team di manutenzione, composto da guardie forestali ed ecologi, collabora e forma volontari per svolgere attività come la pulizia delle aree boschive e dei sentieri, la rimozione di specie vegetali invasive, la raccolta di piantine e di esemplari di alberi in eccesso, e la loro successiva ridistribuzione.

REFERENCES

Backes, C. W. and Van der Veen, G. A., (2020), "Urgenda: The Final Judgment of the Dutch Supreme Court", *Journal for European Environmental and Planning Law*, Vol. 17, pp. 307-21. Available at: https://doi.org/10.1163/18760104-01703004 (Accessed on 18/08/2024).

Boztas, S., (2021), "Every tree counts: Dutch come up with cunning way to create forests for free", *The Guardian*, *26 Nov 2021*. Available at: https://www.theguardian.com/environment/2021/nov/26/every-tree-counts-amsterdam-forest-leads-way-with-sapling-donation-plan?CMP=share_btn_url (Accessed on 03/07/2024).

Buijs, A. E., Mattijssen, T. J., Van der Jagt, A. P. N., Ambrose-Oji, B., Andersson, E., Elands, B. H., et al. (2016). "Active citizenship for urban green infrastructure: Fostering the diversity and dynamics of citizen contributions through mosaic governance", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 22, pp. 1–6. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.01.002 (Accessed on 07/07/2024).

Buitelaar, E., Grommen, E. and Van Der Krabben, E. (2017), "The *self-organizing city*: An *analysis* of the *institutionalization* of *organic urban development* in the *Netherlands",* in Squires, G., Heurkens, E., Peiser, R. (Eds.), *Routledge Companion to Real Estate Development*, Routledge, London, pp. 169-82.

Bright, R. M., Zhao, K., Jackson, R. B. & Cherubini, F. (2015), "Quantifying surface albedo and other direct biogeophysical climate forcings of forestry activities", *Glob. Change Biol.*, Vol. 21, pp. 3246–66. Available at: https://doi.org/10.1111/gcb.12951 (Accessed on 28/11/2024)

Dobbs, C., Martinez-Harms, M.J. and Kendal, D., (2017), "Ecosystem services". In: Ferrini, F., Konijnendijk van den Bosch, C. and Fini, A. (Eds), *Routledge handbook of urban forestry*, Routledge, London, pp. 51–64.

Dorst, H., van der Jagt, A., Raven, R., Runhaar, H., (2019), "Urban greening through nature-based solutions – Key characteristics of an emerging concept", *Sustainable Cities and Society,* Vol. 49, pp.1-8. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101620 (Accessed on 07/07/2024).

Tree hubs address challenges related to social impacts, as they:
- adopt an inclusive approach (ideally, everyone can participate);
- promote social cohesion;
- improve the connection between people and nature.

From an economic perspective:
- they are sustainable, relying on the free or very low cost distribution of trees and plants in urban contexts, and reduce potential costs associated with the use of public or private nurseries;
- they facilitate potential synergies between private and public entities.

In terms of environmental aspects, the tree hubs:
- identify each tree as a potential natural solution to store carbon dioxide;
- propose strategies for dynamic conservation and circular management of trees, enhancing awareness on green space maintenance;
- facilitate the rapid procurement of trees;
- support biodiversity conservation in planting projects;
- are locally rooted and ensure local appropriateness of trees, respecting the climatic and environmental characteristics of the intervention site and minimising transportation.

A few years after the initial experiments, it is possible to observe the development of both local and supra-local hub networks, which validate a potentially replicable model, surpassing the initial objectives. According to Meer Bomen Nu, in The Netherlands, currently more than two million specimens have been transplanted (survival rate exceeding 70%), about 200 hubs can be mapped, while more than 7,500 volunteers are involved. The project is also rapidly expanding in Europe, for example in the United Kingdom, Ireland, Germany and France.

Whereas a top-down or exclusively vertical urban planning approach may favour a conventional economic perspective, these informal and bottom-up initiatives focus on exploring different methods, enhancing a proactive and dynamic approach towards the objectives indicated both at the European and national levels, fostering a sort of "communal craftsmanship" among the people involved, along with meaningful awareness and participation.

NOTES

[1] Goal 11, paragraph 11.7. See: https://www.globalgoals.org/goals/11-sustainable-cities-and-communities/.

[2] In 2023, 438 hectares of natural forests were lost compared to the situation recorded in 2010, see: https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/NLD/

[3] According to the Cobra Bomen Monitor map, there were 0.5 trees per capita in Utrecht and 0.3 trees per capita in Amsterdam in 2017.

[4] The province of Utrecht recently approved to plant additional 700,000 trees by 2027.

[5] This guideline sets thresholds of having at least 3 well established trees in view from every home, school, and place of work; no less than a 30% tree canopy in every neighbourhood; no more than 300 metres to the nearest public green space from every residence.

[6] The costs estimated by EU for afforestation in 2020, including soil preparation, planting and maintenance costs for the first 15-20 years, is estimated between 2232 and 2594 Euro/ha for a

European Commission, (2020), *A new Circular Economy Action Plan*, Brussels. Available at: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF (Accessed on 07/07/2024).

European Commission, (2021), *New EU Forest Strategy for 2030*, Brussels. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0572 (Accessed on 08/07/2024).

Griscom, B. W., et al. (2017), "Natural climate solutions", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 114, pp. 11645-50. Available at: https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114 (Accessed on 07/07/2024).

International Union for the Conservation of Nature, (2020), *IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS.* International Union for the Conservation of Nature, Gland. Available at: https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en (Accessed on 28/11/2024).

Konijnendijk, C.C., (2022), "Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule", *Journal of Forestry Research,* Vol. 34, pp. 821-30. Available at: https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z (Accessed on 20/08/2024).

Lemenih, M., & Kassa, H., (2014), "Re-Greening Ethiopia: History, Challenges and Lessons", *Forests*, *Vol.* 8, pp. 1896-1909. Available at: https://doi.org/10.3390/f5081896 (Accessed on 20/08/2024).

Mens, J., van Bueren, E., Vrijhoef, R. and Heurkens, E., (2021), "A typology of social entrepreneurs in bottom-up urban development", *Cities,* Vol. 110. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103066 (Accessed on 19/08/2024).

Milthorpe, N. (2019), *The Poetics and Politics of Gardening in Hard Times,* Lexington Books, London.

Mussinelli E., Tartaglia A., Bisogni L., Malcevschi S. (2018), "The role of Nature-Based Solutions in architectural and urban design", *Techne,* Vol. 15, pp.116-23. Available at: https://doi.org/10.13128/Techne-22112 (Accessed on 28/11/2024).

Riedman, E., Roman, L., Pearsall, H., Maslin, M., Ifill, T., Dentice, D. (2022), "Why don't people plant trees? Uncovering barriers to participation in urban tree planting initiatives", *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 73. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127597 (Accessed on 28/11/2024).

Spirn, A.W. (1984), *The Granite Garden. Urban Nature and Human Design,* Basic Books, New York.

Waring, B., Neumann, M., Prentice, I.C., Adams, M., Smith, P., and Siegert, M., (2020), "Forests and Decarbonization – Roles of Natural and Planted Forests", *Frontiers in Forests and Global Change*, Vol 3. Available at: https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00058 (Accessed on 20/08/2024).

Warner, E., et al. (2023) "Young mixed planted forests store more carbon than monocultures – a meta-analysis", *Frontiers in Forests and Global Change*, Vol 6. Available at: https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1226514 (Accessed on 20/08/2024).

density of 1500 trees per hectare (European Commission, 2021).

[7] The woodland management team, comprising forest rangers and ecologists, collaborates with and trains volunteers to undertake activities such as cleaning woodland areas and trails, removing invasive plant species, harvesting seedlings and excess tree specimens and, subsequently, redistributing them through a circular process of tree reuse.

Trasformare l'edilizia residenziale pubblica in comunità energetiche: sfide e opportunità

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Elnaz Behnam Kia, https://orcid.org/0009-0004-7299-3627
Dipartimento di Architettura e Progetto, Sapienza Università di Roma, Italia
elnaz.behnamkia1@uniroma1.it

Abstract. Il contributo si propone di mettere in luce la potenziale applicazione del concetto di Comunità Energetica Rinnovabile (CER) ai grandi quartieri residenziali pubblici, con particolare riferimento a quelli realizzati tra gli anni '70 e '90 nelle periferie delle città europee, al fine di conseguire la neutralità carbonica e garantire l'accessibilità energetica a gruppi sociali vulnerabili. Il testo mira a indagare gli approcci, i metodi e i processi che caratterizzano le best practice a livello europeo e italiano, attraverso un'analisi qualitativa delle caratteristiche che consentono alle CER di svolgere un ruolo cruciale nella promozione della sostenibilità ambientale a livello locale e della coesione sociale.

Parole chiave: Transizione Energetica; Comunità Energetica Rinnovabile, Riqualificazione Energetica, Patrimonio Residenziale Pubblico.

CER: un motore per la decarbonizzazione del quartiere residenziale pubblico

Nell'attuale contesto di emergenza ambientale e climatica a livello globale, la transizione energetica nelle aree urbane, orientata verso una produzione e un consumo di energia più sostenibili, riveste un'importanza fondamentale nell'agenda politica dell'Unione Europea. La Commissione Europea attraverso la Strategia per l'Energia Solare, nell'ambito del piano *RepowerEU* (2022) prevede un obiettivo di crescita delle energie rinnovabili fino al 45% entro il 2030 e un raddoppio della capacità solare fotovoltaica entro il 2025. Di seguito, la Direttiva sulle Energie Rinnovabili (RED III-2023) ha stabilito che l'aumento delle installazioni degli impianti rinnovabili rappresenta un "interesse pubblico prevalente", e che la promozione delle CER e la semplificazione dei processi per la loro creazione sono tra le principali strategie di intervento.

La Commissione, inoltre, propone l'aumento dei target di efficienza energetica fino al 13%, e per accelerare questa transizione, oltre a incoraggiare e sovvenzionare le iniziative private, si concentra su interventi sul patrimonio pubblico. L'importanza di questo tema è stata precedentemente evidenziata dalla strategia *Renovation Wave* (2020), la quale ha individuato incentivi volti a migliorare l'efficienza energetica e a facilitare la ristrutturazione del patrimonio residenziale pubblico e sociale. Questi assetti urbani, soprattutto quelli sviluppati tra gli anni '70 e '90, sono grandi quartieri delle città, caratterizzati da aspetti comuni e da sfide simili.

Inoltre, l'aumento dei prezzi comporta significativi compromessi tra la garanzia dell'efficienza energetica e la fornitura di energia pulita a prezzi accessibili, per le famiglie con il basso reddito che vivono negli alloggi sociali (Housing Europe, 2023). In Italia, oltre il 42% degli alloggi del patrimonio edilizio residenziale pubblico versa in uno stato di degrado sociale, prestazionale ed energetico (OIPE, 2022).

In questa prospettiva e in coerenza con gli attuali indirizzi politici, la realizzazione delle CER nei quartieri di edilizia residenziale pubblica e sociale emerge come una delle strategie più efficaci per raggiungere gli obiettivi prefissati. Le CER si fondano su un approccio bottom-up che promuove la produzione, la gestione e il consumo collettivo di energia rinnovabile, soprattutto nei contesti urbani con povertà energetica (Fig. 1). Le CER presentano numerose analogie con i *Positive Energy Districts* (PED), che promuovono l'autonomia energetica nelle aree urbane, spostando l'attenzione dal singolo edificio a energia positiva verso insiemi di edifici e interi quartieri. I PED mirano a raggiungere un bilancio energetico annuale nullo, sia per quanto riguarda l'importazione di energia che le emissioni nette di CO_2 (PED-EU-NET, 2024). Entrambe le strategie con-

Transforming Social Housing Neighbourhoods into Energy Communities: Challenges and Opportunities

Abstract. This paper aims to highlight the potential application of Renewable Energy Community (REC) concept in large Affordable and Public Housing neighbourhoods, particularly those in the European cities' suburbs developed between the 1970s and the 1990s, in order to achieve carbon neutrality and mitigate barriers to energy provision for low-income groups. The research aims to provide a qualitative overview of energy community policies and initiatives at the European level. By identifying common approaches and strategies that are framing the development of best practices in the European and Italian contexts, it explores the characteristics that enable an Energy Community to act as a driver of local sustainable transformation and social cohesion.

Keywords: Energy Transition; Renewable Energy Community, Energy Retrofit, Social Housing Asset.

REC: A Decarbonisation Driver for the Social Housing Neighbourhood

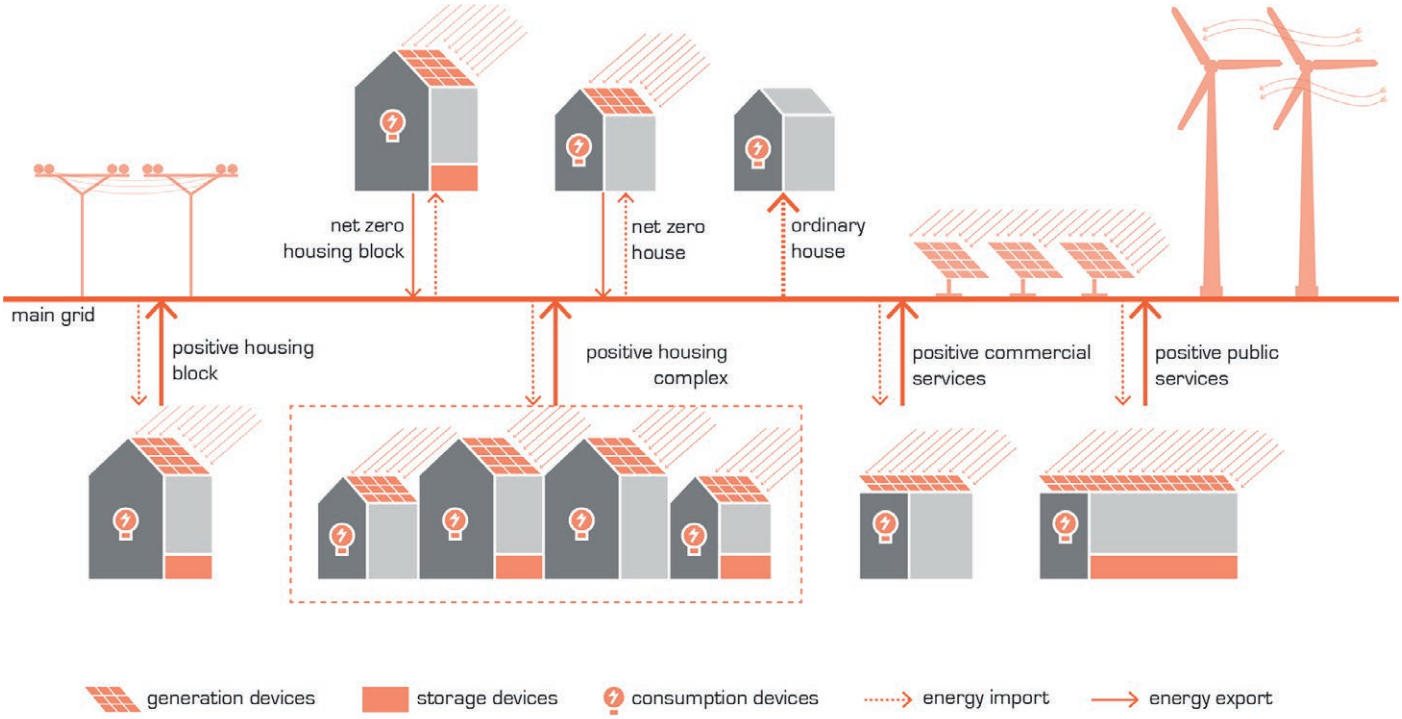
In the context of the current planetary environmental and climate emergency, the urban energy transition towards more sustainable energy production and consumption is at the top of the European Union's political agenda. The European Commission, through the Solar Energy Strategy under the RepowerEU plan (2022), aims to increase the share of renewable energy to up to 45% by 2030, and to double photovoltaic solar capacity by 2025. The Renewable Energy Directive (RED III-2023) establishes that increasing the installation of renewable energy systems is a "public interest priority", and that promoting Renewable Energy Communities (RECs) and simplifying the processes for their creation are among the main interventions.

Additionally, the Commission proposes raising energy efficiency targets to 13%. To achieve this goal, alongside encouraging and subsidising private initiatives, it emphasises targeted interventions in public assets. The relevance of this issue was previously highlighted by the Renovation Wave (2020), which outlined incentives for enhancing energy efficiency and facilitating the renovation of public and social housing assets. These large-scale housing neighbourhoods, particularly those developed between the 1970s and 1990s, are characterised by common features and face similar challenges.

Moreover, due to cost issues, there are strong trade-offs between ensuring energy efficiency and providing clean energy at affordable prices, particularly for low-income families living in social housing (Housing Europe, 2023). In Italy, over 42% of the public

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16589

01 | Schema della CER per il quartiere residenziale, elaborato dall'autrice
Diagram of the REC for the residential neighbourhood, created by the author



dividono l'obiettivo di garantire costi energetici accessibili per i residenti. L'obiettivo prioritario è, infatti, quello di generare benefici sociali e ambientali per la comunità, contribuendo al contempo ad accelerare la transizione energetica (Roberts et al., 2019; Frieden et al., 2019).
Il quadro normativo europeo riconosce le comunità energetiche come una possibile modalità di organizzare azioni collettive dei cittadini nel sistema energetico. Esse sono formalmente definite da due normative separate del Pacchetto Energia Pulita per tutti gli Europei (aggiornato nel 2019): la Direttiva sulle Energie Rinnovabili (REDII-EU 2018) stabilisce il quadro per le "Comunità di Energia Rinnovabile" (CER); la Direttiva sul Mercato Interno dell'Energia Elettrica (IEMD-EU, 2019/944) introduce nuovi ruoli e responsabilità per le "Comunità Energetiche dei Cittadini" (CEC) nel sistema energetico.
Tuttavia, a causa delle numerose difficoltà legislative e normative, l'adozione effettiva delle riforme richieste dall'UE dalla maggior parte degli Stati membri è stata lenta o carente. In

residential building stock is in a state of social, functional, and energy degradation (OIPE 2022).
From this perspective and in alignment with current policy directives, the implementation of RECs in public and social housing neighbourhoods emerges as one of the most effective strategies to achieve the established objectives. Energy Communities operate on a bottom-up approach that promotes collective production, management, and consumption of renewable energy, particularly in urban areas experiencing energy poverty (Fig. 1). RECs share significant similarities with Positive Energy Districts (PEDs), which promote energy autonomy in urban areas by shifting the focus from individual positive energy buildings to clusters of buildings and entire neighbourhoods. PEDs aim to achieve an annual net-zero energy balance, both in terms of energy imports and net CO_2 emissions (PED-EU-NET, 2024). Both strategies converge in their goal of ensuring affordable energy costs for residents. Moreover, their primary objective is to generate social and environmental benefits for the community while simultaneously advancing the energy transition (Roberts *et al.*, 2019; Frieden *et al.*, 2019).
The European regulatory framework recognises energy communities as a potential approach for organising collective citizen actions within the energy system. These communities are formally defined by two distinct regulations within the Clean Energy for All Europeans package (revised in 2019). The Renewable Energy Directive (REDII-EU 2018) establishes the framework for "Renewable Energy Communities" (RECs), whereas the Internal Electricity Market Directive (IEMD-EU, 2019/944) introduces new roles and responsibilities for "Citizen Energy Communities" (CECs) within the energy system.
However, due to numerous legislative and regulatory challenges, the effective adoption of the reforms mandated by the EU has been slow or insufficient in most member states. In this context, Italy is among the countries that have made the most significant progress (Housing Europe, 2023, p.16).
In 2020, in accordance with the National Integrated Energy and Climate Plan (PNIEC-2019), Italy initiated the process of transposing the RED II directive, and introduced the definitions of "Renewable Energy Self-Consumers Acting Collectively" and "Renewable Energy Communities" (Legislative Decree Milleproroghe, 2020). Preliminary approval was achieved in the following year. In January 2024, the Ministry of the Environment and Energy Security published the implementing decree for the incentive mechanism for shared energy for RECs and collective self-consumption configurations, as regulated by LD199/2021. Additionally, in February 2024, the MASE approved the CACER Decree and the TIAD – Operational Rules for Access to the Distributed Self-Consumption Service and the National Recovery and Resilience Plan (Italy's PNRR) Contribution (Legambiente, 2024).
A key measure for addressing energy poverty and accelerating the energy transition in deteriorated urban areas and metropolitan peripheries has been the introduction of Integrated Urban Plans (Italian PUIs). Supported by funding from the PNRR, the PUIs have enabled to initiate the transformation of these vulnerable areas into efficient and sustainable spaces.

tale ambito, l'Italia è tra i paesi che ha registrato i maggiori progressi (Housing Europe, 2023, p.16). Nel 2020, In coerenza con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC-2019), l'Italia ha avviato il processo di recepimento della RED II e sono state introdotte le definizioni di "Autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente" e "Comunità di Energie Rinnovabili" (D.L. Milleproroghe, 2020). L'approvazione preliminare è avvenuta nell'anno successivo. Nel gennaio 2024, il Ministero dell'Ambiente e Sicurezza Energetica (MASE) ha pubblicato il decreto attuativo della modalità di incentivazione per l'energia condivisa per le CER e le configurazioni di autoconsumo collettivo, normate dal D.L. 199/2021. Sono state inoltre approvate dal MASE nel febbraio 2024 il Decreto CACER e TIAD – Regole operative per l'accesso al servizio per l'autoconsumo diffuso e al contributo PNRR (Legambiente, 2024).

Un mezzo decisivo per affrontare la povertà energetica e accelerare la transizione energetica nelle aree urbane degradate e nelle periferie metropolitane è stata l'introduzione dei Piani Urbani Integrati (PUI). Grazie ai finanziamenti messi a disposizione dal PNRR, i PUI hanno consentito di avviare la trasformazione di questi territori vulnerabili in spazi efficienti e sostenibili. Successivamente sono stati pianificati gli interventi di riqualificazione ed efficientamento energetico degli edifici dell'edilizia residenziale pubblica, promuovendo l'uso dei pannelli fotovoltaici sui tetti degli edifici e la realizzazione delle CER. Nello specifico, un esempio di attuazione dei PUI si è dato da Roma, dove sono stati realizzati grandi progetti nei quartieri di Tor Bella Monaca e Corviale (Cangelli *et al*., 2024). Aderendo al Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia e adottando il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC), Roma Capitale, ha fissato, con la Delibera 402/2022, gli obiettivi per sostenere la realizzazione di comunità energetiche. Sono stati individuati 15 progetti pilota per avviare le CER, uno per ciascun municipio, valorizzando i tetti degli edifici pubblici ed in particolare le scuole, attraverso l'installazione dei pannelli fotovoltaici. I beneficiari saranno le famiglie in difficoltà economica, le strutture che si occupano di assistenza e i progetti ambientali. In linea con i PUI, tra i progetti pilota ci sono i quartieri di edilizia residenziale pubblica come Tor Bella Monaca e Corviale (Roma Capitale, 2024).

In Italia sono stati realizzati 154 progetti di energia condivisa, tuttavia, nessuno di questi è stato applicato all'ambito dell'edilizia residenziale pubblica. Recentemente, la società AzzeroCO2, in collaborazione con Legambiente, ha lanciato la campagna *EnergyPOP* per promuovere il fotovoltaico sociale. Grazie al sostegno delle aziende, si propone di installare impianti fotovoltaici su complessi residenziali pubblici ed edifici di proprietà di cooperative o associazioni impegnate in ambito sociale, per produrre energia elettrica a beneficio delle persone in povertà energetica (Legambiente, 2024).

Possibili Tipologie delle CER nel contesto di edilizia residenziale pubblica

Tra i diversi modi con cui possono essere classificate le CER (Caramizaru and Uihlein, 2020), ai fini dell'applicazione all'edilizia sociale, lo studio ha tenuto conto del parametro della distanza geografica tra produzione e consumo di energia come base per la classificazione delle tre tipologie di CER trattate di seguito.

Planned interventions include the redevelopment and energy efficiency of social housing assets, promoting the installation of photovoltaic panels on building roofs and the establishment of RECs.

A notable example of the implementation of the PUIs can be observed in Rome, where large scale projects have been undertaken in the social housing neighbourhoods of Tor Bella Monaca and Corviale (Cangelli *et al*., 2024). By joining the Covenant of Mayors for Climate and Energy, and by adopting the Sustainable Energy and Climate Action Plan (Italian PAESC), the City of Rome has outlined, through Resolution 402/2022, its targets to support the development of energy communities. As part of this initiative, fifteen pilot projects, one from each of the fifteen municipalities, have been identified to establish RECs. The aim is to optimise the use of rooftops on public assets, particularly schools, by installing photovoltaic panels. The beneficiaries will include low-income families, as well as facilities involved in social health assistance and environmental projects. In line with the PUIs, social housing neighbourhoods such as Tor Bella Monaca and Corviale are also considered among the pilot projects (Roma Capitale, 2024).

In Italy, 154 collective self-consumption projects have been implemented to date. However, none of these have been applied to the social housing context. Recently, the Energy Service Company of AzzeroCO2, in collaboration with Legambiente, launched the EnergyPOP campaign to promote social photovoltaic initiatives. With the support of companies, the campaign aims to install photovoltaic systems on social housing complexes and buildings owned by cooperatives or associations engaged in social initiatives, to generate electricity for the benefit of those experiencing energy poverty (Legambiente, 2024).

Possible Typologies of RECs in the Social Housing Context

Among the various ways in which RECs can be classified (Caramizaru and Uihlein, 2020), for the application to social housing, the study considered the parameter of geographical distance between energy production and consumption as the basis for classifying the three types of RECs discussed below.

1. RECs within a single building organised as a single collective self-consumption entity (Caramizaru and Uihlein, 2020), similar to the model used in the "Les Souffleurs" project in Bordeaux, France (Tab. 1). The housing company "Gironde Habitat" has pioneered the first collective self-consumption project for social housing in France. In compliance with the French regulatory framework, this initiative involved the formation of an association with the residents, serving as the legal entity responsible for defining the criteria for energy distribution. In the project's initial phase (2018), photovoltaic panels were installed to supply energy to the communal areas and to facilitate the sale of surplus energy to the national grid. In the following phase (2021), the system was upgraded to enable direct consumption of the energy generated within the building by the residents (Housing Evolution, 2024).
2. RECs that extend beyond individual building boundaries, creating a broader association of consumers

1. CER all'interno di un edificio trattato come un unico soggetto di autoconsumo collettivo (Caramizaru and Uihlein, 2020), lo stesso modello applicato nel progetto "Les Soufleurs" a Bordeaux, in Francia (Tab. 1). La società "Gironde Habitat" ha lanciato il primo progetto di autoconsumo collettivo per l'edilizia sociale del paese, formando insieme ai residenti un'associazione, come previsto dal quadro normativo francese, al fine di definire i criteri di distribuzione dell'energia. In una prima fase (2018) si sono installati i pannelli fotovoltaici per alimentare gli spazi comuni, con la vendita dell'energia in eccesso alla rete nazionale. Nella seconda fase (2021), si è reso possibile il consumo diretto dell'energia prodotta all'interno dell'edificio da parte dei residenti (Housing Evolution, 2024).
2. CER che superano i confini degli immobili individuali, costituendo una più ampia associazione di consumer e prosumer geograficamente vicini e sfruttano più impianti rinnovabili (Caramizaru and Uihlein, 2020, p.28). Un esempio di questo modello è il progetto pilota del "Parco solare Le Torri" nel quartiere di Tor Bella Monaca (Tab. 2). Il progetto prevede varie fasi di realizzazione, a partire dall'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti della sede municipale e della scuola IC Melissa Bassi, consentendo di coprire il 95,5% del fabbisogno di energia elettrica nel territorio del VI Municipio. È un modello di partnership pubblico-privata e l'investimento non graverà sui residenti e ridurrà le loro spese energetiche (Roma Capitale, 2023).
3. CER distribuite dove i consumatori possono accedere a unità di produzione situate al di fuori del proprio edificio o delle sue immediate vicinanze (Caramizaru and Uihlein, 2020, p.28), come l'Iniziativa della cooperativa "ASTER" nelle Fiandre, in Belgio (Tab. 3). Questa cooperativa energetica rinnovabile, creata da diverse cooperative di alloggi sociali regionali, ha avviato un'iniziativa che mira a garantire un risparmio minimo del 20% sulle bollette energetiche per le famiglie a basso reddito. Questo risultato sarà ottenuto tramite l'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti degli edifici appartenenti alle 64 società di edilizia residenziale pubblica della regione che hanno finora aderito all'iniziativa (Housing Evolutions, 2024).

Difficoltà e potenzialità per le amministrazioni locali e gli Enti gestori per applicazione delle CER

Malgrado l'impegno crescente di amministrazioni locali, cooperative, enti gestori e università in tutta Europa, persistono barriere normative e legali, tecniche e finanziarie che rallentano l'applicazione delle CER su larga scala.

In alcuni casi, i vincoli normativi impediscono agli Enti gestori di partecipare attivamente alla creazione e gestione delle CER, poiché queste attività esulano dalle loro competenze (Housing Europe, 2023). I comuni e gli enti di prossimità hanno una visione complessiva degli investimenti pubblici e privati disponibili per portare a termine il progetto, mentre, le cooperative e gli Enti gestore degli alloggi possono occuparsi dell'implementazione equa delle politiche. Inoltre, le regioni, comuni e gli Enti gestori difficilmente riescono ad investire nella riqualificazione energetica dei propri patrimoni a causa delle scarse risorse finanziarie e dei bassi canoni di affitto (RESCOOP EU, 2024).

and prosumers who are geographically close and utilise multiple renewable energy installations (Caramizaru and Uihlein, 2020). Such an example can be found in the "Parco Solare Le Torri" pilot project in the Tor Bella Monaca social housing neighbourhood (Tab. 2). The project includes several implementation phases, beginning with the installation of photovoltaic panels on the roofs of the municipal headquarters and the Melissa Bassi school. It is expected to cover 95.5% of the electricity needs within the territory of Municipality VI. It operates as a public-private partnership model, ensuring that the investment will not impose any financial strain on residents, while reducing their energy expenses (Roma Capitale, 2023).

3. Distributed RECs where consumers can access production units located outside their own building or its immediate vicinity (Caramizaru and Uihlein, 2020), similar to the "ASTER" cooperative initiative in Flanders, Belgium (Tab. 3). This renewable energy cooperative, established by various regional social housing cooperatives, has launched an initiative aimed at ensuring a minimum of 20% savings on energy bills for low-income households. This result will be achieved through the installation of photovoltaic panels on the roofs of buildings owned by the 64 public housing companies in the region that have so far joined the initiative (Housing Evolutions, 2024).

Challenges and Opportunities for Local Authorities and Social Housing Providers in Implementing RECs

Despite the increasing commitment of local authorities, cooperatives, social housing providers, and universities across Europe, regulatory and legal barriers, along with technical and financial challenges, continue to slow down the large-scale implementation of RECs. In some cases, the strict legal parameters exclude housing providers from playing an active role in establishing and managing energy communities, as these activities fall beyond their designated responsibilities (Housing Europe, 2023). Municipalities and local authorities possess a comprehensive overview of the public and private investments available for project completion, whereas cooperatives and housing providers are well positioned to address the equitable implementation of policies. Furthermore, regional governments, municipalities, and social housing providers often struggle to invest in the energy retrofitting of their assets due to limited financial resources and low rental income (RESCOOP EU, 2024).

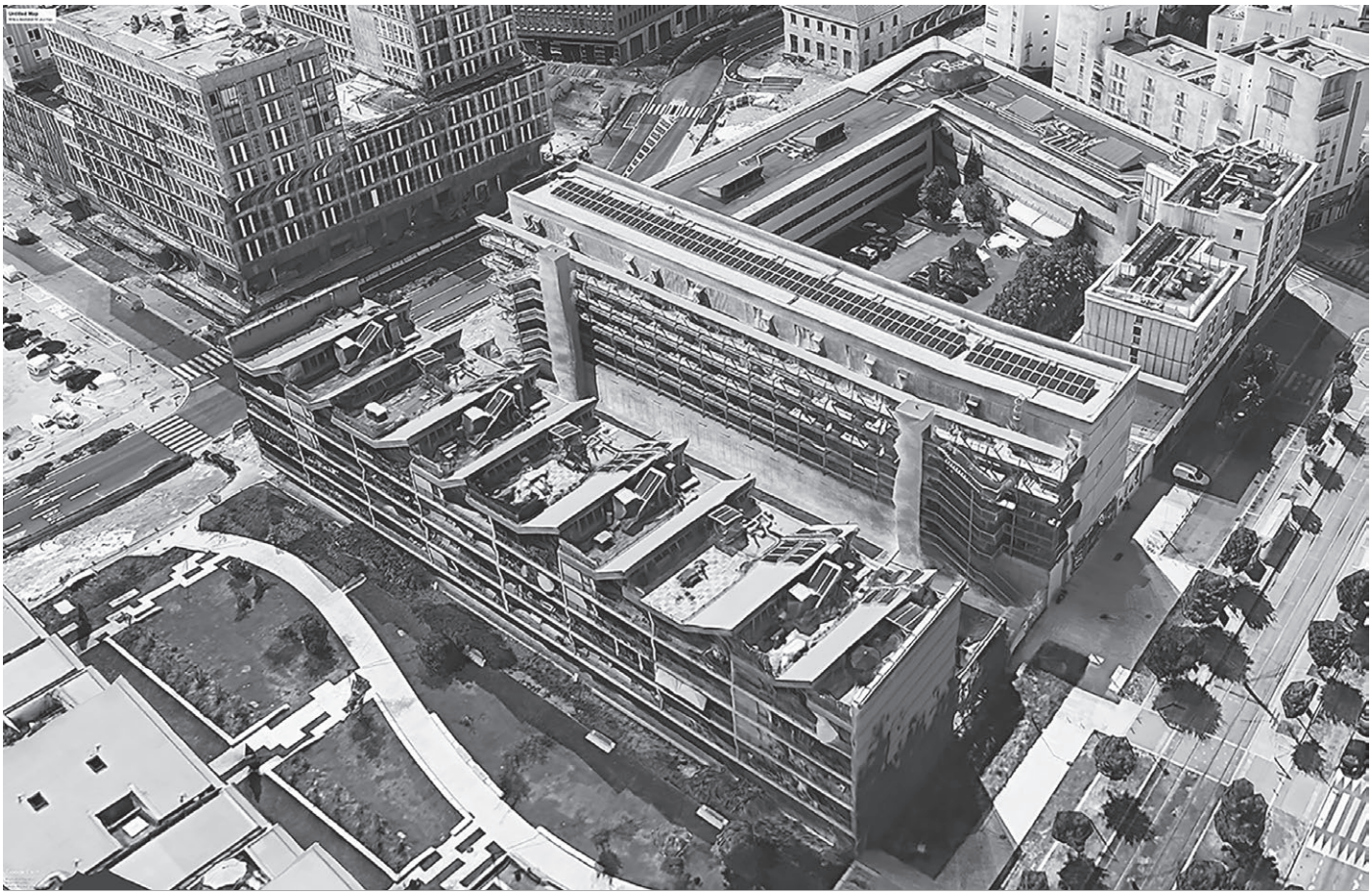
According to research by the 'Sustainable Housing for Social Impact' project SHAPE-EU (2024), energy renovation and achieving the highest EPC rating often results in poor economic returns for the housing owners, making the associated costs no longer justifiable. The typology and morphology of the neighbourhood play a crucial role in this context (SHAPE-EU, 2024).

In homogeneous and uniform residential complexes, such as those developed between the 1970s and 1990s in Italy, France, and Eastern European countries, the development of REC at the neighbourhood level yields a higher economic return. The availability of large roof surfaces significantly contributes to the increase in renewable energy generation through the installation of photovoltaic systems.

Tab. 1 | Comunità energetica di Les Souffleurs, foto dal sito Housing Evolution
Les Souffleurs Energy Community, photo from the Housing Evolution website

| Tab. 01

Les Souffleurs Energy Community

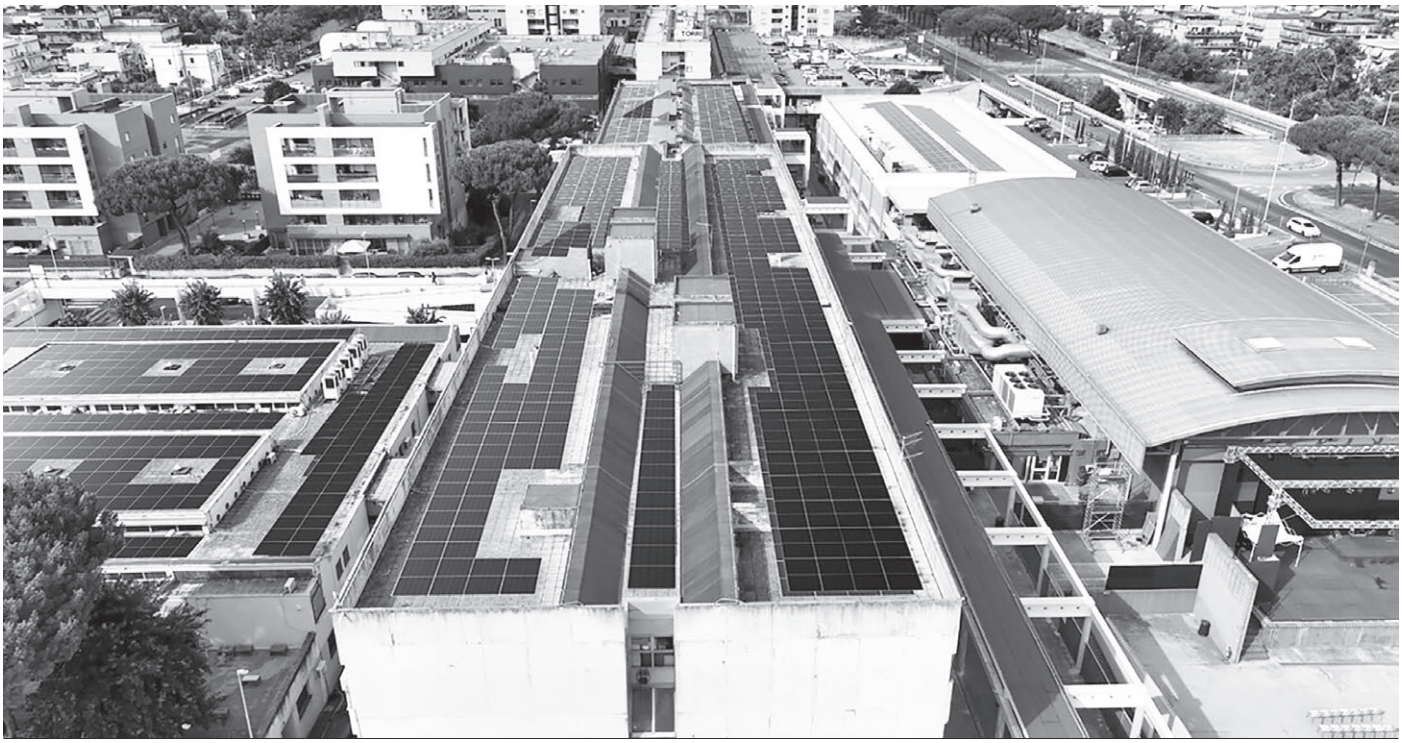


General Data	
location	France, Bordeaux, Saint-Jean neighbourhood
REC project start date	2018
project scale	single building with 60 social housing units
intervention typology	Renovation of the residential asset through architectural and functional refurbishment, open spaces enhancement, energy efficiency improvement, promotion of renewable energy, and resource efficiency.
legal entity	association of collective self-consumption of renewable energy (as a legal entity), created by Gironde Habitat and the housing tenants, whose main responsibility is to establish the distribution
stakeholders	Gironde Habitat e Enedis e social housing tenants
tenant participation	active participation as part of the association for renewable energy self-consumption, without participating in the investment in the CER project
Investment	8,25 M€ (entire refurbishment project, including the CER)
REC Project Specification	
photovoltaic panels and annual renewable energy production	144 panels covering an area of 260 square meters
place of installation	roof of the social housing complex
economic benefits	30% savings on tenants' energy bills, approximately €60
CO_2 emission reduction	-
For further information refer to	
Gironde Habitat	https://www.gironde-habitat.fr/actualites/elargissement-de-lautoconsommation-collective-aux-souffleurs-pour-lutter-contre-la-precarite-energetique/
Housing Evolution-Energy Communities Hub	https://www.housingevolutions.eu/project/les-souffleurs-energy-production-in-bordeaux-social-housing/
Jean de Giacinto Architecture Composite	https://www.jean-de-giacinto.com/souffleurs

Tab. 2 | Comunità energetica del Parco solare Le Torri, foto dal sito Roma Today
Parco Solare Le Torri Energy Community, photo from the Roma Today website

Tab. 02 |

Parco Solare Le Torri Energy Community

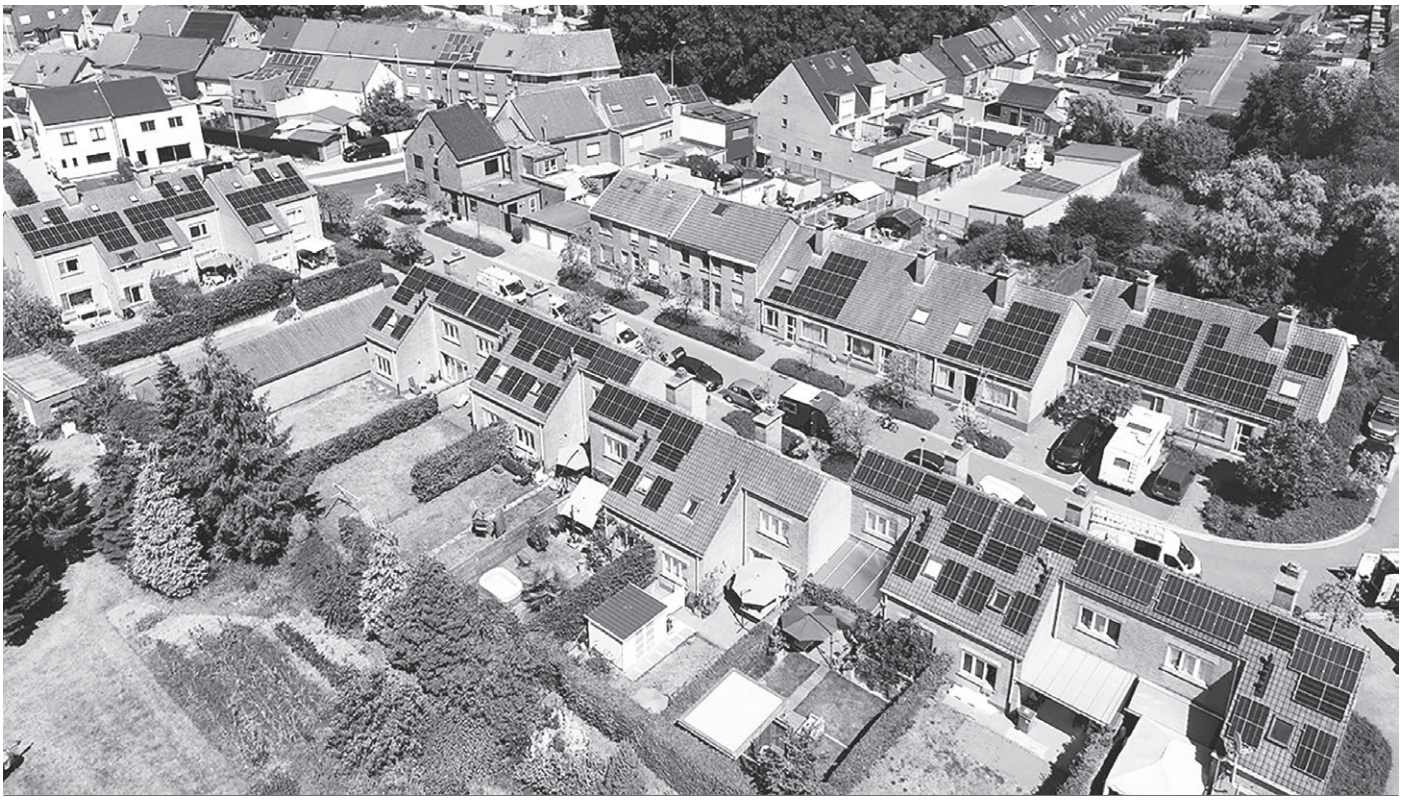


General Data	
location	Italy, Rome, VI Municipality, Tor Bella Monaca neighbourhood
REC project start date	2023
project scale	Inter-municipal, starting from the public housing neighbourhood
intervention typology	decarbonization of the neighbourhood and reduction of environmental impact through energy efficiency improvements of public residential assets, large-scale implementation of renewable energy systems, planting and afforestation of trees and shrubs, and promotion of sustainable mobility.
legal entity	public-private partnership
stakeholders	Municipality VI of Rome Le Torri, City of Rome (Roma Capitale) – Climate Office, University of Rome Tor Vergata, e Engie Company
tenant participation	tenants are not directly involved in the energy project but are beneficiaries
Investment	1,5 M€
REC Project Specification	
photovoltaic panels and annual renewable energy production	capacity of 554 kilowatts
place of installation	roofs of the municipal headquarters and the Melissa Bassi school
economic benefits	cover 95,5 percent of the electricity needs of the territory of Municipality VI, reducing the energy costs of the residents
CO_2 emission reduction	170 tons annually
For further information refer to	
Roma Capitale	https://www.comune.roma.it/web/it/notizia.page?contentId=NWS1077746
University of Rome Torvergata	https://web.uniroma2.it/it/contenuto/il-parco-solare-delle-torri-quando-forestazione-e-fotovoltaico-trasformano-un-quartiere
Corriere della Sera	https://roma.corriere.it/notizie/cronaca/23_agosto_04/alle-torri-nel-vi-municipio-il-primo-parco-solare-di-roma-investiti-1-5-milioni-c3f36819-278e-4c92-ab4b-46647d34cxlk.shtml
Roma Today	https://www.romatoday.it/zone/torri/tor-bella-monaca/parco-solare-torri-tor-bella-monaca.html

Furthermore, involving various stakeholders and citizens in REC projects can facilitate access to funding and reduce some of the financial burden on public administration and housing providers. A successful example is the 'Urban Energy Club' initiative, launched by Brixton Energy, which is the first community-owned REC project in the context of social housing in the UK, located in the Brixton neighbourhood of London (Tab. 4). Since 2012, this non-profit cooperative has engaged social tenants from three different buildings in two different social housing complexes, offering them the opportunity to invest in renewable energy production and purchase shares starting at £250. Each project is a tenant-owned cooperative. This model not only allows tenants to engage in collective self-consumption but also enables them to sell excess energy to the grid, generating revenue (Housing Evolutions, 2024).

Tab. 3 | Comunità energetica di ASTER, foto dal sito ASTER
ASTER Energy Community, photo from the ASTER website

ASTER Energy Community



General Data	
location	Belgium, Flanders Region
REC project start date	2022
project scale	regional
intervention typology	a sector-based approach of Association of Flemish Social Housing Companies for combating energy poverty by retrofitting social housing stocks, promotion of solar energy, and improvement of resource efficiency.
legal entity	Renewable Energy Cooperative established by various regional social housing companies and cooperatives
stakeholders	Association of Flemish Social Housing Companies, VVH, EIB / ELENA
tenant participation	tenants are not directly involved in the energy project but are beneficiaries
Investment	€155 million (for five years from 2022 to 2026). The investments are managed and financed outside the regional and national budgets, allowing social housing operators to define appropriate interventions (an innovative financial mechanism)
REC Project Specification	
photovoltaic panels and annual renewable energy production	395,000 panels with a total capacity of approximately 150,000 kWp, and an annual energy production of over 130,000 MWh.
place of installation	roofs of 52,500 apartments owned by over 64 social housing companies in the region
economic benefits	a minimum of 20% of savings on annual energy bills (with a rate 10-35% lower than the market price)
CO_2 emission reduction	35,000 tons annually, equivalent to the amount of CO_2 that a forest of 3.25 million trees – about 65 km² or 10,000 football fields – could offset each year.
For further information refer to	
ASTER	https://aster.vlaanderen/nl
Housing Evolution-Energy Communities Hub	https://www.housingevolutions.eu/project/aster-access-to-sustainability-for-through-energy-efficient-retrofit/
Housing Europe	https://www.stateofhousing.eu/#p=1
Interreg Europe	https://www.interregeurope.eu/good-practices/aster-access-to-sustainability-for-tenants-through-energy-effective-retrofit-0

Another key principle in the transformation of social housing into REC projects is to ensure that the benefits are shared equitably among all tenants, regardless of income and access to capital, including those who do not actively participate or are not involved in the decision-making process. In addition, the success of the REC project will be more achievable if tenants demonstrate a high degree of acceptance and participation in the project. Local administrations often face dif-

Secondo la ricerca del progetto "Sustainable Housing for Social Impact" SHAPE-EU (2024), le ristrutturazioni energetiche e il raggiungimento del massimo livello della classe energetica, offrono scarsi ritorni economici per i proprietari, rendendo così i costi non più giustificabili. In questa prospettiva, la tipologia e la morfologia del quartiere giocano un ruolo fondamentale (SHAPE-EU, 2024). Nei complessi residenziali omogenei e uniformi, come quelli sviluppati tra gli anni '70 e '90 in Italia, Francia e nei paesi dell'Est, infatti, lo sviluppo delle CER a livello di quartiere offre un miglior ritorno economico. La disponibilità di ampie superfici sulle coperture degli edifici di questi quartieri può contribuire in modo significativo all'aumento della generazione di energia rinnovabile, grazie all'installazione di impianti fotovoltaici.

Inoltre, coinvolgere i vari *stakeholder* e i cittadini nei progetti delle CER può facilitare l'accesso ai finanziamenti e ridurre parte di questo onere per l'amministrazione pubblica e gli Enti gestori degli alloggi. Un esempio significativo è rappresentato dall'iniziativa "Urban Energy Club", lanciata da *Brixton Energy*, come il primo progetto di CER di proprietà della comunità nel contesto del social housing nel Regno Unito, nel quartiere di Brixton a Londra (Tab. 4). A partire dal 2012, questa cooperativa no-profit ha coinvolto gli inquilini di tre edifici in due complessi di social housing, offrendo loro la possibilità di investire nella produzione di energia rinnovabile e acquistare azioni a partire da £250. Ogni progetto è una cooperativa di proprietà degli inquilini. Questo modello non solo consente agli inquilini l'autoconsumo collettivo ma permette anche di vendere l'energia in eccesso alla rete elettrica, generando guadagni (Housing Evolutions, 2024).

Un altro principio chiave nella applicazione delle CER agli alloggi sociali è assicurare che i benefici vengano condivisi equamente tra tutti gli inquilini, indipendentemente dal reddito e dall'accesso al capitale, inclusi coloro che non partecipano attivamente o non sono coinvolti nel processo decisionale. Inoltre, il successo del progetto CER sarà garantito se gli inquilini mostreranno un elevato grado di accettazione e partecipazione. Le amministrazioni locali spesso incontrano difficoltà nel coinvolgere gli abitanti e, in alcuni casi, ciò potrebbe persino causare effetti regressivi. L'adozione delle politiche sociali innovative volte ad aumentare la conoscenza collettiva sui potenziali benefici, potrebbero rafforzare la motivazione personale a partecipare a tali iniziative (Caramizaru and Uihlein, 2020). Una ricerca condotta su sette iniziative delle comunità energetiche locali nei Paesi Bassi mostra che esiste una forte connessione tra il coinvolgimento delle persone nella loro comunità e la loro disponibilità a partecipare a tali progetti (Goedkoop *et al*., 2021). Inoltre, si può considerare anche il modello applicato in Danimarca, dove gli inquilini degli alloggi sociali sono membri di un'associazione di housing e gestiscono direttamente l'immobile. Seguendo obiettivi comuni si rafforza anche l'identità condivisa della comunità (REN21, 2016).

Infine, l'implementazione delle CER è rilevante anche dal punto di vista del rinnovo tecnologico del sistema energetico, ovvero il ridimensionamento delle infrastrutture energetiche, le reti di distribuzione sul territorio, e la sostituzione dei vari dispositivi obsoleti a combustibili fossili che attualmente soddisfano gran parte del fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento del patrimonio edilizio residenziale. Tutto ciò beneficia ed accelera anche lo sviluppo dei piccoli sistemi di teleriscaldamento e tele-raffreddamento del quartiere (SHAPE-EU, 2024).

ficulties in engaging residents. In some cases, this may even lead to regressive effects. The adoption of innovative social policies aimed at increasing collective awareness of the potential benefits could enhance personal motivation to participate in such initiatives (Caramizaru and Uihlein, 2020). A study conducted on seven local energy community initiatives in the Netherlands shows a strong connection between individuals' involvement in their community and their willingness to engage in such projects (Goedkoop *et al*., 2021). Additionally, the model applied in Denmark can also be considered, where social housing tenants are members of a housing association and manage the property directly. Pursuing common goals can also strengthen the shared identity of the community (REN21, 2016).

Finally, the implementation of RECs is crucial for the technological renewal of the energy system, encompassing the resizing of supply infrastructures, local distribution networks, and the replacement of various outdated fossil fuel devices that currently provide a substantial portion of the heating and cooling needs of residential buildings. This approach not only benefits but also accelerates the development of small-scale district heating and cooling systems within the social housing neighbourhood (SHAPE-EU, 2024).

Considerations

The paper examined various approaches implemented in Europe for the development of RECs within the context of social housing. The analysis reveals that the key to ensuring the success of energy projects like RECs is the complementarity of strategies adopted by local authorities and social housing providers. The use of renewable energy sources, optimisation of consumption, and reduction of energy use at the neighbourhood level should be implemented simultaneously rather than individually. Although there is no direct correlation between a specific policy and positive outcomes due to contextual variability, it is clear that the combination of various strategies can generate significant synergies for the successful implementation of RECs.

RECs are an effective tool for affordable and social housing neighbourhoods, mitigating the negative impacts associated with regulatory, legal, technical, social, and financial barriers that hinder the large-scale implementation of energy and social enhancement initiatives. This approach promotes the development of effective and replicable solutions, reducing the time and resources needed for decarbonisation of neighbourhoods. In other words, the transformation of public residential estates into RECs not only helps reduce energy costs for citizens, particularly those with low incomes, but can also revitalise marginalised neighbourhoods, fostering large-scale regeneration.

ACKNOWLEDGMENTS

The paper was developed in continuity and consistency with the objectives of the research project "Transforming Social Housing Neighbourhoods into Energy Communities: Assessing Challenges and Opportunities" (SHEC – 2023, Supervisor: Prof. Eliana Cangelli, Principal Investigator: Elnaz Behnam Kia), funded by the Sapienza-Rome Technopole for the Attraction of early-career researchers MSCA Fellowships – 2023, within the framework of FP2 "Energy Transition and Digital Transition in Urban Regeneration and Construction".

Tab. 4 | Scheda 4. Comunità energetica di Brixton Energy Solar, foto dal sito Housing Evolution
Brixton Energy Solar Community, photo from the Housing Evolution website

Brixton Energy Solar Community- Roupell Park housing estates

General Information	
location	United Kingdom, London, Brixton neighbourhood
REC project start date	2012
project scale	different buildings and housing blocks within two large residential complexes
intervention typology	energy efficiency and building retrofits of council housing stock, extensive installation of renewable energy systems, and improvement of the resilience of the local community. The three projects, Brixton Energy Solar 1, Solar 2, and Solar 3, involve various buildings in two residential complexes, Loughborough and Roupell Park.
legal entity	for each project, a separate not-for-profit cooperative (REScoop) owned by the investors (tenants of the housing units)
stakeholders	Brixton Energy, Lambeth Council, EDF
tenant participation	active participation as shareholders in solar energy project
Investment	to date approximately £210,000 (€270,000) the initial funds and economic resources are covered by local and national grants. In the subsequent phase, the projects are financed by tenants, who could purchase shares starting from £250.
REC Project Specification	
photovoltaic panels and annual renewable energy production	installation of: a 37.24kWp solar power station in Brixton Energy Solar 1; 45kW of solar electric (photovoltaic) panels in Brixton Energy Solar 2; and 52kWp of solar PV panels in Brixton Energy Solar 3.
place of installation	Roofs of various buildings in two residential complexes of Loughborough and Roupell Park
economic benefits	an annual return of up to 3%-5% on investment, cost savings on their energy bills for the communal lifts, a nominal reduction on service charge for residents. part of the profits of the solar projects are invested in a Community Energy Efficiency Fund (CEEF) for improving the energy efficiency of the housing stock in London.
CO_2 emission reduction	approximately 38 tonnes of CO_2 every year for Brixton Energy Solar 2 and 3
For further information refer to	
Brixton Energy	https://brixtonenergy.co.uk/projects/our-first-project/
Housing Evolution- Energy Communities Hub	https://www.housingevolutions.eu/project/brixton-energy-social-housing-tenants-owning-their-energy/
REScoop EU- Brixton Energy Model	https://www.rescoop.eu/uploads/rescoop/downloads/Model-18_Brixton-Energy-Co-op_final.pdf
Repowering UK-London	https://www.repowering.org.uk/

Considerazioni

Nel testo sono stati esaminati vari approcci sperimentati in Europa per lo sviluppo delle CER nel contesto dell'edilizia residenziale pubblica. Dal quadro descritto emerge che la chiave per garantire il successo dei progetti energetici come le CER, è la complementarità delle strategie adottate da parte degli amministratori locali e i gestori degli immobili. L'uso di fonti di energia rinnovabili, l'ottimizzazione del consumo e la riduzione del consumo energetico a livello di quartiere urbano vanno implementate di pari passo piuttosto che singolarmente. Sebbene non esista una correlazione diretta tra una politica specifica e risultati positivi, a causa della variabilità dei contesti, è chiaro che la combinazione di diverse strategie può generare sinergie significative per la realizzazione delle CER.

In questo modo, le CER si propongono come uno strumento efficace per i quartieri di edilizia economica e sociale, riducendo gli impatti negativi associati alle barriere normative, legali, tecniche, sociali e finanziarie che ostacolano l'implementazione su larga scala delle iniziative di riqualificazione energetica e sociale. L'approccio favorisce lo sviluppo di soluzioni efficaci e replicabili, riducendo il tempo e le risorse necessarie per la decarbonizzazione dei quartieri. Ovvero, la trasformazione dei patrimoni residenziali pubblici nelle CER non solo contribuisce alla riduzione dei costi energetici per i cittadini, in particolare per quelli a basso reddito, ma valorizza anche i quartieri emarginati, promuovendo il rilancio territoriale su vasta scala.

ATTRIBUZIONE E RICONOSCIMENTI

L'articolo è stato sviluppato in continuità e coerenza con gli obiettivi del progetto di ricerca "Transforming Social Housing Neighbourhoods into Energy Communities: Assessing Challenges and Opportunities" (SHEC – 2023, *Supervisor*: Prof.ssa Eliana Cangelli, *Principal Investigator*: Elnaz Behnam Kia), finanziato da Sapienza-Rome *Technopole* per l'Attrazione di *early-career researchers* MSCA *Fellowships* – 2023, nell'ambito di FP2 "Energy Transition and Digital Transition in Urban Regeneration and Construction".

REFERENCES

Cangelli, E., Conteduca, M., Behnam Kia, E., Zaiter, H. and Fonti, V. (2024), "Public Housing Stock between Recovery and Sustainability: The Case of Tor Bella Monaca in Rome", *Journal of Sustainability*, 16(6), 2510. Available at: https://doi.org/10.3390/su16062510 (Accessed on 02/07/2024).

Cangelli, E. (2014), "NZEB 2050. Visioni possibili", *Journal of Planning design technology: scienze per l'abitare*, N. 03, RDesignPress, Roma, pp. 143-152. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283078923_E_Cangelli2015_NZEB_2050_Visioni_possibili_in_Journal_of_Planning_Design_Technology_3_Rdesignpress_Roma (Accessed on 05/09/2024).

Caramizaru, E. and Uihlein, A. (2020), "Energy communities: an overview of energy and social innovation", *JRC Publications Repository*, EUR 30083 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-10713-2. Available at: doi:10.2760/180576, JRC119433 (Accessed on 17/05/2024).

European Affordable Housing Consortium (SHAPE-EU) (2024), *Blueprints for replicating lighthouse districts, Guidance for municipalities, housing providers and companies to create thriving affordable housing neighbourhoods*. Available at: https://shape-affordablehousing.eu/files/2024/05/SHAPE-EU_D4_BlueprintsforReplication_revised_VF2204.pdf (Accessed on 12/06/2024).

Eu Commission (2023), *Enabling energy communities, a toolkit for just transition regions*, pp.3,5. Available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/funding/just-transition-fund/toolkit-enabling-energy-communities.pdf (Accessed on 28/06/2024).

Goedkoop, F., Sloot, D., Jans, L., Dijkstra, J., Flache, A. and Steg, L. (2022), "The Role of Community in Understanding Involvement in Community Energy Initiatives". Journal of Frontiers in Psychology, Sec. Environmental Psychology, Vol. 12. Available at: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.775752 (Accessed on 02/08/2024).

Frieden, D., Tuerk, A., Neumann, C., d'Herbemont, S. and Roberts, J. (2020), *Collective self-consumption and energy communities: Trends and challenges in the transposition of the EU framework*. Available at: https://www.rescoop.eu/uploads/rescoop/downloads/Collective-self-consumption-and-energy-communities.-Trends-and-challenges-in-the-transposition-of-the-EU-framework.pdf (Accessed on 02/06/2024).

Housing Europe (2023), *The state of housing in Europe*. Available at: https://www.stateofhousing.eu/The_State_of_Housing_in_Europe_2023.pdf (Accessed on 29/07/2024).

Housing Evolutions Hub (no date), *Projects Archive*. Available at: https://www.housingevolutions.eu/project/ (Accessed on 03/08/2024).

Legambiente (2024), *Comunità energetiche rinnovabili: il punto della situazione in Italia*. Available at: https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/Comunita-energetice_report_2024.pdf (Accessed on 15/07/2024).

Osservatorio Italiano Povertà Energetica OIPE (2022), *La Povertà Energetica in Italia nel 2022*. Available at: https://oipeosservatorio.it/wp-content/uploads/2024/02/2024_PE_ITA_2022.pdf (Accessed on 02/08/2024).

PED-EU-NET (no date), *PED-EU-NET | COST ACTION CA19126, Positive Energy Districts European Network*. Available at: https://pedeu.net/ (Accessed on 20/11/2024).

REScoop.EU (no date), *Transposition Tracker, Definitions – REC & CEC definitions*. Available at: https://www.rescoop.eu/policy/transposition-tracker/rec-cec-definitions (Accessed on 20/08/2024).

Renewable Energy Policy Network REN21 (2016), *Renewables 2016 Global Status Report*, Paris, France. Available at: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf (Accessed on 20/06/2024).

Roberts, J., Frieden, D. and d'Herbemont, S. (2019), *Compile: Energy Community Definitions*. Available at: https://main.compile-project.eu/wp-content/uploads/Explanatory-note-on-energy-community-definitions.pdf (Accessed on 13/07/2024).

Roma Capitale (2024), *Comunità energetiche, nuovo passo in avanti*. Available at: https://www.comune.roma.it/web/it/notizia/comunita-energetiche-approvato-regolamento.page (Accessed on 11/06/2024).

Città che si nutrono. Nuovi scenari transcalari per l'Agricoltura Urbana

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

SAGGI E PUNTI DI VISTA/ ESSAYS AND VIEWPOINT

Leonardo Zaffi[1], https://orcid.org/0000-0003-0578-3705 leonardo.zaffi@unifi.it
Michele D'Ostuni[2], https://orcid.org/0000-0002-9246-6099 michele.dostuni@unibo.it
[1] Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italia
[2] Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari, Università di Bologna, Italia

Abstract. Le visioni di Yona Friedman in cui ipotizzava un ricorso all'Agricoltura Urbana per annullare la dipendenza della città dalla campagna sottraendo le aree agricole allo sfruttamento, sembrano oggi quanto mai attuali. In uno scenario dove le città sono nutrite da alimenti prodotti in luoghi sempre più lontani e l'impatto della filiera agroalimentare sempre meno sostenibile, appare strategico ripensare il rapporto fra aree urbanizzate e cibo. L'innovazione tecnologica legata alle coltivazioni senza suolo apre oggi nuove opportunità di vegetalizzazione in chiave produttiva dello spazio urbano e di quello abitativo. Superata ogni connotazione di tipo utopistico, è utile riflettere sulla necessità di nuovi paradigmi progettuali, capaci di far interagire in modo osmotico e diffuso ambiente costruito e spazio coltivato, promuovendo azioni di rigenerazione sostenibile.

Parole chiave: Agricoltura urbana; Utopie della città; Sicurezza alimentare; Rigenerazione urbana sostenibile.

Nutrire le metropoli: impatto ambientale e uso delle risorse

La superficie urbanizzata è oggi circa il 3% di tutte le terre abitate ed entro il 2050 ospiterà l'85 % di una popolazione mondiale destinata a raggiungere i dieci miliardi di persone (UN 2024) e per la quale la città sarà il vero 'habitat naturale'. Le città consumano l'80% dell'intero fabbisogno di cibo (Ellen MacArthur Foundation, 2019) e si stima in 100 milioni di ettari la superficie agricola necessaria per produrlo (OECD-FAO, 2023).
Dai primi consistenti processi di urbanizzazione iniziati non più di 200 anni fa gli agglomerati urbani hanno ridotto progressivamente la propria autosufficienza alimentare diventando ipertrofici parassiti nutriti da alimenti provenienti da luoghi sempre più lontani con lunghe catene di approvvigionamento dall'impronta ecologica non trascurabile (Hamilton *et al.,* 2020).
Le crisi recenti, guerre e pandemie, hanno evidenziato la debolezza e la scarsa resilienza di questo sistema, quando in modo improvviso è messo a rischio l'accesso alla risorsa alimentare.
Ne discendono alcune questioni basilari. La prima riguarda certamente il modo con cui sarà possibile far fronte nel futuro alla domanda alimentare delle città, con pratiche di coltivazione efficaci in uno scenario di cambiamenti climatici, impoverimento dei suoli, scarsità di risorse idriche. Non sembrano esservi particolari timori riguardo alla capacità dell'industria agroalimentare di incrementare la propria produttività ma ve ne sono di fondati sul fatto che essa potrà farlo in modo inclusivo e sostenibile (Holt-Giménez, 2019).
All'inizio del XX secolo Haber e Bosch scoprirono e resero industriale il metodo di produzione dell'azoto evitando una carestia globale dovuta alla penuria di concimi e dando avvio a un'importante fase di crescita demografica (Labatut, 2019). Oggi però l'uso massiccio di questo nutriente insieme al potassio rende l'agricoltura fra le attività più inquinanti dell'uomo (Naidu *et al.,* 2021).

Riavvicinare produzione e consumo: riportare l'agricoltura nelle città

Una seconda importante questione riguarda la distanza fra aree urbane e zone di produzione agricola. È il focus degli studi sull'Agricoltura Urbana che affrontano le questioni agronomiche, della città e dell'architettura per promuovere sostenibilità del sistema alimentare, uso circolare delle risorse e benessere ambientale attraverso il reinserimento di pratiche di agricoltura

Feeding cities: new trans-scale scenarios for Urban Agriculture

Abstract. Yona Friedman's vision of employing Urban Agriculture to eliminate the city's dependence on the countryside by liberating agricultural land from exploitation is more pertinent than ever. In a world where cities are sustained by food produced in increasingly remote locations and the environmental impact of the agri-food supply chain grows ever more unsustainable, it is imperative to reconsider the relationship between urbanised areas and food production. Advances in soil-free cultivation technologies present new opportunities to integrate productive vegetation into urban and residential spaces. If deprived of utopian connotations, this approach invites reflection on the need for innovative design paradigms that integrate the built environment with cultivated spaces, fostering widespread and symbiotic interactions to promote sustainable regeneration.

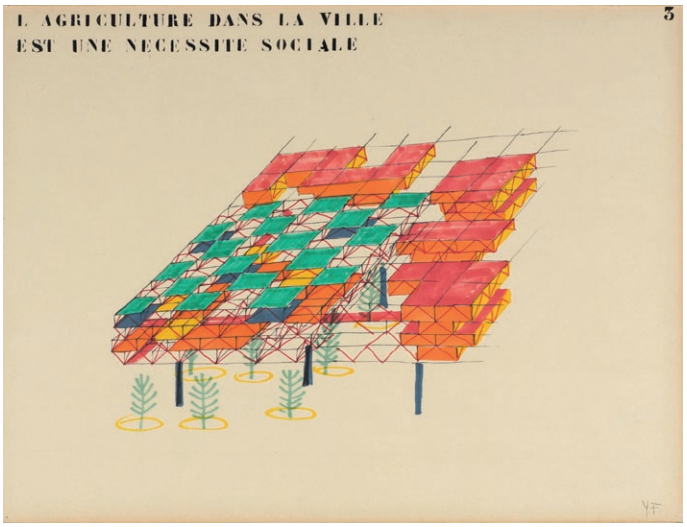
Keywords: Urban agriculture; city utopias; food security; sustainable urban regeneration.

Nurturing metropolises: environmental impact and resource use

Urbanised areas account for approximately 3% of all inhabited land. By 2050, they are expected to accommodate 85% of the global population projected to reach ten billion (UN, 2024), establishing cities as mankind's predominant 'natural habitat'. Urban centres consume 80% of the world's food supply (Ellen MacArthur Foundation, 2019), requiring an estimated 100 million hectares of agricultural land to sustain this demand (OECD-FAO, 2023). Since the advent of large-scale urbanisation just 200 years ago, cities have steadily diminished their capacity for food self-sufficiency, transforming into hypertrophic entities reliant on food sourced from increasingly distant regions. These extensive supply chains carry a significant ecological footprint (Hamilton *et al.,* 2020). Recent crises, such as wars and pandemics, have highlighted the fragility and lack of resilience in this system, where sudden disruptions can severely threaten access to food. This context raises several fundamental questions, foremost of which is how cities can sustainably address their growing food demands in an era characterised by climate change, soil degradation, and water scarcity. Although the agri-food industry is expected to boost productivity, concerns persist regarding its capacity to do so inclusively and sustainably (Holt-Giménez, 2019).
In the early 20th century, Haber and Bosch pioneered and industrialised nitrogen production, preventing a global famine caused by fertiliser shortages

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16601

01 | Friedman,Y., 1961, disegno "L'agriculture dans la ville est une nécessité sociale", in L'architecture mobile, les dix principes de l'urbanisme spatial. Credits Centre Pompidou, Parigi
Friedman,Y., 1961, drawing "L'agriculture dans la ville est une nécessité sociale", in L'architecture mobile, les dix principes de l'urbanisme spatial. Credits Centre Pompidou, Paris



nei contesti urbanizzati (Orsini *et al.,* 2020). Fino a non molti anni fa l'Agricoltura Urbana era ancora debitrice alle pratiche agricole tradizionali e si dedicava allo sviluppo di orti urbani in appezzamenti di terra cittadini, sulle coperture degli edifici esistenti o nel riuso di serre e vivai con l'accento posto di volta in volta sull'utilità sociale, sugli aspetti terapeutici, sulla didattica, sulla biodiversità o sulla ristorazione a chilometro zero (Evans *et al.,* 2023). Non si è mai però verificata una concreta possibilità che queste esperienze potessero incidere sulla sicurezza alimentare o trasformare in modo importante la qualità ambientale delle città. La poca disponibilità di terreno e di superfici idonee, ne ha limitato la diffusione e l'impatto. In un nuovo scenario, con tecniche di coltivazione liberate dai limiti naturali del suolo e della luce, l'Agricoltura Urbana può trovare una diversa fattibilità proponendosi come disciplina di confine e strumento concettuale per ripensare la città e l'abitare in chiave sostenibile (Van Tuijl *et al.,* 2018). I benefici per l'ambiente e la salute connessi alla vegetalizzazione dello spazio urbano e domestico sono evidenti (Ilieva *et al.,* 2022), ma ripensare queste azioni in termini produttivi, può aprire a prospettive forse ancora più interessanti.

L'Agricoltura Urbana utopia 'realizzabile'?

«Il cibo è al centro dell'Habitat, vivere significa avere acqua e cibo» (Friedman, 2003).

Da questo semplice assunto nella seconda metà del 900, in uno scenario di decadenza delle metropoli ricche e dei suoi modelli sociali e politici, Yona Friedman sviluppa un pensiero preveggente che anticipa una delle criticità globali del mondo contemporaneo.

A suo avviso vi è anche un rapporto diretto fra architettura e produzione alimentare poiché: «il tetto e il cibo sono indissociabili» (Friedman, 2003). Propone quindi un ritorno taumaturgico alle questioni base della sopravvivenza come spinta per innovare il progetto urbano e di architettura. La soluzione per rigenerare agglomerati urbani in sofferenza e distanti da campagne sfruttate, sta per Friedman nell'Agricoltura Urbana il cui principale obiettivo è «fare in modo che la città si possa nutrire da sola» (Friedman, 2003). Tuttavia, quando nel 1961 chiosa a margine di un disegno «l'agriculture urbaine est une nécessité sociale» (Fig. 1) è evidente che l'intento è in realtà quello di costruire su queste basi un rivoluzionario modello urbano e di società.

Di fronte alla carenza di spazi coltivabili nei tessuti urbani, Friedman immagina uno schema fatto di grandi strutture a piastra, dai profili reticolari, che svettano sopra il cielo delle città moltiplicando la superficie secondo un impianto pensato insieme per l'abitare e per l'agricoltura (Friedman, 2003). Queste infra-strutture, scheletriche, modulari, costruiscono una realtà alternativa, verde e lussureggiante dove su più livelli, disposti in

and initiating a period of rapid population growth (Labatut, 2019). However, today the excessive use of nitrogen and potassium fertilisers has rendered agriculture one of mankind's most polluting activities (Naidu *et al.*, 2021).

Bringing production and consumption closer: integrating agriculture into cities

Another critical issue is the disconnect between urban areas and agricultural production zones. Research on Urban Agriculture addresses this challenge by examining agronomic, urban, and architectural approaches to enhance food system sustainability, promote circular resource use, and improve environmental well-being by reintegrating agricultural practices into urban settings (Orsini *et al.,* 2020). Until recently, Urban Agriculture was primarily rooted in traditional farming methods, centring on developing urban gardens in city plots, rooftop spaces, or repurposed greenhouses and nurseries. These efforts often prioritised social benefits, therapeutic applications, education, biodiversity, or local farm-to-table initiatives (Evans *et al.,* 2023). However, such practices rarely made a tangible impact on food security or substantially improved the environmental quality of cities. The limited availability of land and suitable surfaces further constrained their reach and effectiveness. Today, cultivation techniques are no longer necessarily bound by the natural limits of soil and light. Indeed, Urban Agriculture offers a new realm of possibilities. It is emerging as a cross-disciplinary field and a conceptual framework for rethinking cities and living spaces through a sustainable lens (Van Tuijl *et al.,* 2018). The environmental and health benefits of urban and domestic greening are well documented (Ilieva *et al.,* 2022), yet reframing these actions within a productive framework could unlock even greater potential for innovation with wider impacts on urban environments.

Urban Agriculture: a 'realisable' utopia?

«Food is at the core of Habitat; to live is to have water and food» (Friedman, 2003).

Building on this simple yet profound idea, Yona Friedman developed a prescient vision in the second half of the 20th century against the backdrop of declining wealthy metropolises and their faltering social and political frameworks. He anticipated one of the defining global challenges of our time. For Friedman, architecture and food production are intrinsically linked, as «the roof and food are inseparable» (Friedman, 2003).

He advocated revisiting the fundamental necessities of survival as a catalyst for urban and architectural design innovation. In his view, the key to revitalising struggling urban areas disconnected from exploited rural landscapes lies in Urban Agriculture, whose main objective is «to enable the city to feed itself» (Friedman, 2003). When Friedman inscribed «l'agriculture urbaine est une nécessité sociale» (Urban agriculture is a social necessity) on the margin of a drawing in 1961 (Fig. 1), his intention went beyond addressing immediate survival needs. Instead, he envisioned a revolutionary model for urban development and society. Acknowledging the limited availability of cultivable land in urban environments, Friedman proposed large, plate-like structures with latticed frameworks

modo da consentire una migliore penetrazione della luce solare, si collocano liberamente case, coltivazioni e serre integrate agli alloggi. Gli ideali di comunità urbane dedite all'agricoltura insieme a una certa fascinazione macrostrutturale, diffusa nel pensiero di quel periodo storico e nei movimenti dell'architettura radicale e dei metabolisti giapponesi, (Koolhaas *et al.,* 2011) ha confinato queste idee nell'ambito dell'utopia. L'utopia per Friedman è però qualcosa di realizzabile in un futuro prossimo o lontano (Friedman, 2000), un modo concreto di fare progetto e dar luogo a visioni possibili di un tempo migliore. Seguendo queste intuizioni, in uno scenario tecnologicamente evoluto, si può oggi provare a riannodare il filo interrotto fra agricoltura e città, diluendo le connotazioni utopiche per renderlo motore d'innovazione per il progetto dell'habitat.

Coltivare nelle città: nuove opportunità dall'innovazione tecnologica

Intorno al 1970 i ricercatori della NASA per far crescere i vegetali nelle navicelle spaziali aggiunsero azoto a una soluzione nutritiva liquida riuscendo a coltivare piante senza l'uso di terra e attivando i fenomeni fotosintetici con la sola luce artificiale (Wheeler, 2022).
All'incirca in quel periodo si sviluppano le prime ricerche sulle illuminazioni con tecnica LED che con l'ottenimento della luce blu sul finire del secolo, e l'industrializzazione del processo produttivo degli ultimi tre decenni, hanno reso disponibile una fonte di luce artificiale energeticamente più efficiente, con minima emissione di calore ma soprattutto con uno spettro modulabile secondo le necessità di crescita delle piante.
Come spesso avviene, è dall'innovazione tecnologica che nasce l'occasione per stravolgere paradigmi consolidati e costruire futuri alternativi. Così da quelle applicazioni legate a un campo molto specialistico, si è oggi sviluppata la moderna tecnica di coltivazione *off soil* che nelle sue principali declinazioni: idroponica, aeroponica, acquaponica (Fig. 2), ci consente di rivalutare le potenzialità dell'Agricoltura Urbana (Despommier 2010).
Nel 2010 è l'architetto statunitense Dickson Despommier nel suo libro "The Vertical Farm – Feeding the World in the 21st Century" a legare queste tecniche alla visione di una città del futuro come grande e diffusa fabbrica idroponica di alimenti vegetali.
Queste tecniche di coltivazione senza terra, di precisione e biologiche, con il controllo digitale, il supporto delle nuove tecniche d'illuminazione e di filtraggio dell'aria, delle acque e dei reflui, e alimentate da fonti rinnovabili, aprono oggi nuove prospettive alla produzione vegetale in ambito urbano. È lo *zero acreage farming (Zfarming)* a studiare l'integrazione di agricoltura e ambiente costruito come opportunità per cicli produttivi vegetali a basso impatto e favorire un uso circolare delle risorse. Infatti, molti dei reflui prodotti prevalentemente in ambito urbano, compresa l'anidride carbonica, sono risorse per questo tipo di agricoltura e l'efficienza del sistema circolare è connessa all'integrazione con sistemi impiantistici e di approvvigionamento energetico che rendono queste tecniche di agricoltura più facilmente sfruttabili proprio dove sono disponibili reti urbane sviluppate (Fox-Kämper *et al.,* 2023).

Vertical farm: le nuove fabbriche del cibo

Dal 2010 molte risorse sono state indirizzate alla ricerca, allo studio e alla realizzazione di edifici per l'agricoltura urbana

rising above cityscapes, multiplying usable surfaces for habitation and agriculture (Friedman, 2003). These skeletal, modular infrastructures outlined a vision of an alternative reality, lush and green, where homes, crops, and greenhouses coexist across multiple tiers, thoughtfully designed to maximise sunlight. This vision, grounded in the ideal of urban communities focused on agriculture, was also influenced by the fascination with macrostructures prevalent in that era's architectural discourse, particularly within the radical architecture movement and the Japanese Metabolists (Koolhaas *et al.,* 2011). Consequently, these concepts were often relegated to the realm of utopia. However, for Friedman, utopia was not a distant dream but a tangible possibility, achievable in the near or distant future (Friedman, 2000). It represented a practical approach to design that could inspire visions of a better world. In today's technologically advanced era, these insights offer a renewed opportunity to reconnect agriculture and urban living. By shedding its purely utopian connotations, Urban Agriculture can emerge as a transformative force for innovation in the design of sustainable habitats.

Cultivating in cities: new opportunities from technological innovation

In the 1970s, NASA researchers succeeded in growing plants aboard spacecraft by enriching a liquid nutrient solution with nitrogen and stimulating photosynthesis using only artificial light (Wheeler, 2022). Around the same time, early experiments with LED lighting began to take shape. By the end of the Century, the development of blue light technology and the industrialisation of LED production over the past three decades have provided an energy-efficient artificial light source. LED lights emit minimal heat and, most significantly, allow their spectrum to be tailored to the specific growth needs of plants.
As is often the case, technological innovation has created opportunities to overturn established paradigms and envision alternative futures. What began as a specialised application has since evolved into modern off-soil cultivation techniques, such as hydroponics, aeroponics, and aquaponics (Fig. 2), which have revitalised interest in the potential of Urban Agriculture (Despommier, 2010).
In 2010, American architect Dickson Despommier, in his book "The Vertical Farm – Feeding the World in the 21st Century", envisioned a future where cities become vast, interconnected hydroponic systems for producing plant-based foods. These precision, soil-free cultivation methods, enhanced by microclimate control, advanced lighting technologies, and systems for air, water, and waste filtration, possibly powered by renewable energy, are now unlocking new possibilities for urban food production. In this sense, Zero acreage farming (Zfarming) and Building-Integrated Agriculture explore how agriculture can integrate with urban infrastructure to enable low impact, sustainable production cycles and encourage circular resource use. Urban byproducts, including carbon dioxide, are valuable resources for these agricultural systems. The efficiency of such circular models depends on their integration with urban utility networks and energy systems, making these techniques particularly viable in densely developed cities (Fox-Kämper *et al.,* 2023).

02 | Componenti per la coltivazione acquaponica. Le Serre dei Giardini Margherita, Bologna. Foto di L. Zaffi

Componentis for aquaponic cultivation. Le Serre dei Giardini Margherita, Bologna. Photo: L. Zaffi

indoor. Nascono così le *vertical farm*, strutture ad alta intensità produttiva basate sul principio della stratificazione e moltiplicazione della superficie coltivabile (Orsini and Zauli, 2023). L'attenzione si è tuttavia concentrata sugli aspetti agronomici lasciando all'architettura un ruolo di servizio lontano dagli scenari di trasformazione urbana di Despommier o ancor più di Friedman. Le odierne *vertical farm* sono strutture puntuali, isolate dai fattori esterni, e analoghe a qualunque impianto produttivo quanto a relazioni con il contesto. Alcune prime realizzazioni in Europa e negli Stati Uniti come Agricola Moderna[1] a Milano o Aerofarms[2] nel New Jersey ci mostrano costruzioni dal carattere dimostrativo, con alterne vicende riguardo alla redditività imprenditoriale ma in generale poco capaci di dare un contributo incisivo ai processi di rigenerazione sostenibile della città. Nella loro declinazione attuale le *vertical farm*, vere e proprie fabbriche del cibo, non dialogano con il loro intorno e sono vincolate dagli alti costi iniziali d'impianto a una produzione asettica ed esasperata. La consistente massa vegetale che contengono non apporta alcun beneficio diretto all'ambiente urbano rendendole totalmente aliene rispetto alle attese di colonizzazione verde e forestazione urbana ispirata dai primi movimenti ecologisti e di *guerrilla gardening*. Per incrementare la produttività (ovvero input energetico/idrico/carbonico per chilogrammo di prodotto coltivato) nelle *vertical farm* si coltivano quasi esclusivamente varietà ridotte di piccoli ortaggi a foglia, alti non più di 30 cm, posti in vasche impilate le une sopra le altre (Kozai, 2019). Sebbene con consumi in parte ancora da valutare (Stanghellini and Katzin, 2024), nelle *vertical farm* si recuperano molte delle risorse immesse: i nutrienti sono ottenuti per filtrazione

Vertical Farms: the new food factories

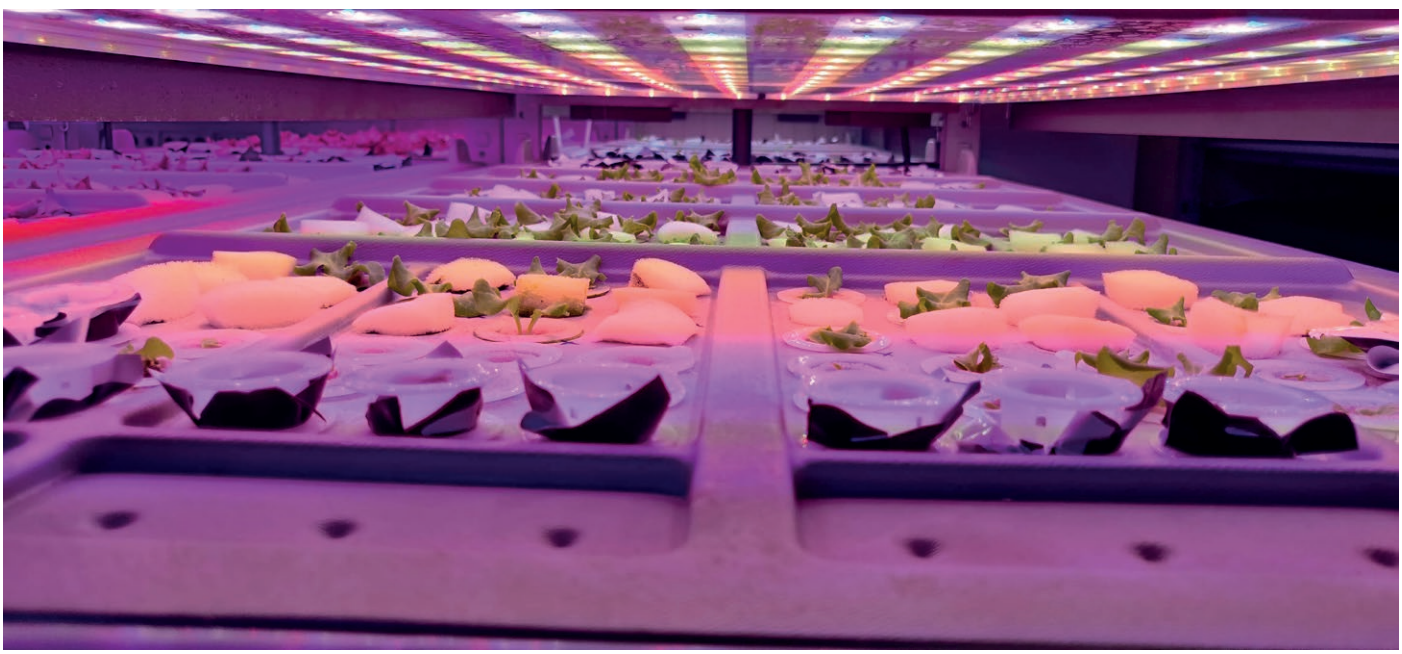
Since 2010, significant efforts have been directed toward researching, designing, and constructing buildings dedicated to indoor urban agriculture. This focus has led to the emergence of vertical farms – highly productive facilities that maximise cultivable surface area through layering and vertical integration (Orsini and Zauli, 2023). Despite their promise, the emphasis has largely remained on agronomic aspects, leaving architecture with a secondary, utilitarian role, far removed from the transformative urban visions proposed by Despommier or Friedman. Modern vertical farms are stand-alone structures, disconnected from external factors, and comparable to industrial plants, lacking integration with the surrounding urban fabric. Early examples, such as Agricola Moderna[1] in Milan or Aerofarms[2] in New Jersey, serve primarily as demonstrative projects. While they show mixed economic viability, they have done little to advance sustainable urban regeneration. In their current iteration, vertical farms operate as self-contained 'food factories," constrained by high startup costs and reliant on sterile, highly controlled production systems. Despite housing significant volumes of vegetation, these farms offer no direct environmental benefits to their urban surroundings, making them entirely detached from the green colonisation and urban reforestation ideals inspired by early ecological movements and guerrilla gardening. To optimise efficiency, measured as energy, water, or carbon input per kilogram of produce, vertical farms typically cultivate small leafy vegetables, no taller than 30 cm, arranged in stacked trays (Kozai, 2019). Although their overall resource consumption is still under assessment (Stanghellini and Katzin, 2024), vertical farms recover many of the inputs they use. Nutrients are extracted from filtered waste, CO_2 is captured and reused, while environmental factors (such as air quality, temperature, and humidity) are carefully managed by advanced control systems. These facilities are highly efficient, but achieving optimal yields and protecting crops from pests and diseases requires isolating plants entirely from external conditions. Consequently, these systems are no longer managed by traditional farmers but by specialised technicians who rely on precision technology rather than on natural weather patterns to ensure successful harvests. This independence from environmental conditions allows vertical farms (Basso, 2023; Orsini and Zauli, 2023) to be located in spaces unsuitable for tradi-

03 | Celle per lo studio di tecniche di coltivazione senza suolo. Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari, Università di Bologna. Foto L. Zaffi
Cells for the study of soil-free cultivation techniques. Department of Agri-food Sciences and Technologies, University of Bologna. Photo by L. Zaffi

dai reflui, la CO_2 è convogliata e riutilizzata, aria, temperatura e umidità sono controllate da sofisticati strumenti. Sono strutture efficienti dove però per ottenere una buona resa e protezione da agenti patogeni e parassiti, il prodotto vegetale è isolato dal rapporto con l'ambiente esterno e governato ormai più che da agricoltori, da tecnici specializzati che non devono scrutare il cielo per leggervi il destino del loro raccolto.
Come conseguenza della sostanziale indipendenza dalle condizioni ambientali, vediamo che le *vertical farm* (Basso, 2023; Orsini and Zauli, 2023) sono spesso collocate in ambienti inospitali per ogni forma di agricoltura tradizionale: spazi interrati e seminterrati, tunnel, o impianti industriali dismessi ed offrono interessanti opportunità per la riconversione di spazi residuali, *brownfield*, aree marginali. Sono sempre più numerosi i progetti condivisi fra imprenditoria ed enti di ricerca per trasformare angoli inutilizzati del suolo e del sottosuolo urbano in luoghi di produzione alimentare come nel caso di Nara Sverige[3] sotto la superficie di Stoccolma o di Tunnel Farm[4] nei rifugi antiaerei di Torrita di Siena[4]. E mentre si perfezionano rapidamente le tecniche agronomiche (sperimentazioni sono in corso ad esempio nei laboratori del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari dell'Università di Bologna per valutare gli effetti dei diversi spettri luminosi su caratteristiche, qualità e conservazione delle verdure a foglia e degli ortaggi) (Carotti *et al.,* 2023) (Fig. 3), sembra sempre più necessario sviluppare contestualmente una riflessione dal punto di vista dell'architettura e del progetto urbano.

Dal modello puntuale a un sistema diffuso

Assunto come requisito basilare la necessità di coltivare cibo nel costruito l'Agricoltura Urbana diviene una disciplina centrale nelle strategie di progetto sulla circolarità. Tutto l'habitat urbano è da vedere come un unico grande ambiente produttivo capace di mettere a sistema diverse scale d'intervento, dalle *plant factories* alle piccole coltivazioni domestiche di vicinato o di quartiere. Le nuove tecniche di *Zfarming* rendono versatile l'impianto di spazi coltivati in una molteplicità di ambienti e micro ambienti, diversi per tipo e dimensione, distribuiti capillarmente nella città: facciate cieche o secondarie, spazi interstiziali, corti interne, ingressi o parti comuni, scantinati, rimesse, sottopassi, coperture piane, terrazze, magazzini, aree pubbliche. È la *Building Integrated Agriculture* (BIA) a interessarsi di tutte queste piccole e preziose occasioni di occupazione vegetale e dei suoi molteplici campi di applicazione: dal design d'interni a quello di prodotto, dalla nuova costruzione alla rigenerazione dell'esistente, dal progetto dello spazio a uso collettivo a quello domestico e privato, con estese ricadute su una moltitudine di aspetti come l'educazione, l'autocostruzione, l'inclusione sociale, la ristorazione, il tempo libero, l'orticoltura terapeutica e il benessere (Fig. 4). A Bruxelles con un progetto di ricerca coordinato dall' Université Libre de Bruxelles con l'impresa di economia sociale Refresh[5], è stata realizzata una coltivazione di orticole sul tetto di un supermercato (Perego, 2023) per studiare le problematiche agronomiche, dell'alimentazione, dell'energia insieme alle strategie di caratte-



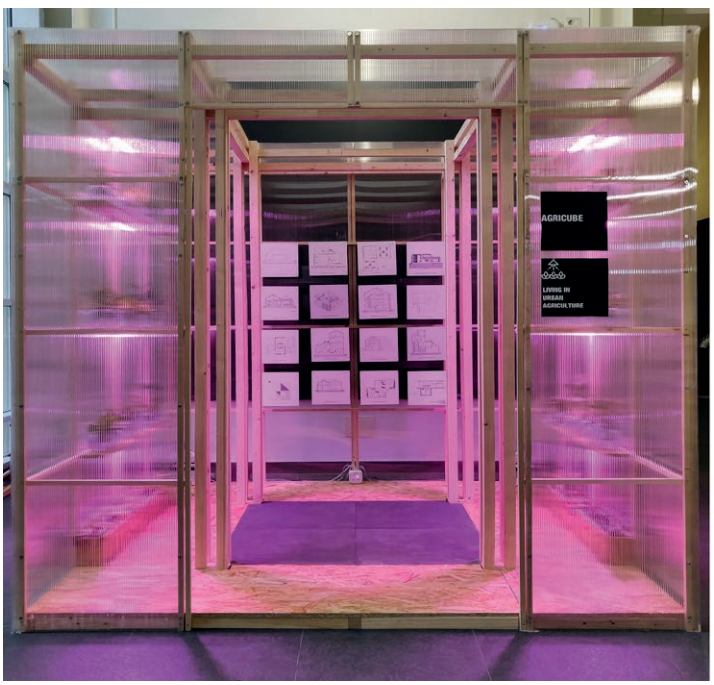
| 03

04 | *Agricube*: prototipo di serra domestica autocostruita a basso costo. LAA Laboratorio di Architettura e Autocostruzione, Dipartimento di Architettura, Università di Firenze. Foto L. Zaffi
Agricube: prototype of a low-cost self-built domestic greenhouse. LAA Laboratory of Architecture and Self-construction, Department of Architecture, University of Florence. Photo: L. Zaffi

re sociale e di formazione e coinvolgimento degli abitanti. Esperienze analoghe supportate anche da un'efficace azione di *green branding* sono in atto ormai un po' ovunque. Gotham Greens[6] ha al suo attivo numerosi impianti di agricoltura in serra realizzati in varie parti degli Stati Uniti valorizzando spazi inutilizzati e a basso costo come tetti di fabbriche o aree dismesse.
Ad Amsterdam, il *De Ceuvel*[7] intervento di riqualificazione sostenibile di una rimessa per barche abbandonata, ha il proprio cuore nel *Metabolic Lab* e nella serra che produce alimenti per il vicino Café. La serra utilizza un sistema acquaponico che impiega i rifiuti organici generati e trattati in loco per produrre compost e cibo per i pesci i quali a loro volta forniscono il nutrimento per le piante, che servono da cibo per gli esseri umani (Fig. 5).
La crescente attenzione ai nessi inscindibili fra alimentazione e qualità ambientale, rilevati anche da un sondaggio Ipsos del 2023 in cui un intervistato su cinque considerava l'adozione di una dieta in prevalenza vegetale come una delle possibili azioni individuali di contrasto ai cambiamenti climatici (Ipsos, 2023), trova anche una propria presenza visiva nel crescente numero di serre impiantate in spazi pubblici, ex vivai, aree verdi o sui tetti piani di edifici di molte città europee. Così come i tempietti orientalisti e i *kursaal* raccontavano nell'era vittoriana la fascinazione per mondi e culture esotiche, alimentandosi delle immagini e dei racconti dei territori d'oltremare (Kane, 2016), oggi le nuove generazioni urbane trovano in questi modelli architettonici scarni ed essenziali la rappresentazione delle proprie aspirazioni ad una città diversa, più verde e più salubre.

Ripensare il progetto dell'abitare: nuove osmosi fra agricoltura e architettura
Il progetto residenziale è un ambito nel quale si possono ottenere interessanti sviluppi dall'interazione fra costruito e tecniche di coltivazione senza suolo. Partendo da una concezione dell'alloggio come organismo metabolico, è possibile sperimentare nuovi modelli per habitat agri-urbani ad alta circolarità supportati dalle moderne tecnologie, efficienti nell'uso di risorse e nel trattamento e reimpiego dei reflui domestici e della CO_2.
In una serra idroponica integrata sul tetto del Dipartimento di Scienza e Tecnologia dell'Università Autonoma di Barcellona è allo studio l'uso dei reflui provenienti dai bagni per l'estrazione di nutrienti utili al sistema idroponico (azoto, potassio e fosforo). La raccolta dei reflui è convogliata verso un sistema di nitrificazione per estrarre macro e micronutrienti per renderli utilizzabili e assorbibili dalle piante coltivate con un sistema idroponico (Arcas-Pilz *et al.*, 2023).
Questi impianti si stanno perfezionando anche per una dimensione domestica dove, supportati da energia da fonti rinnovabili, possono immettere in un flusso circolare le sostanze necessarie a coltivare piante fuori suolo: acqua, nutrienti (come reflui), anidride carbonica (proveniente dalla climatizzazione) ed energia (come calore). È evidente che c'è moltissimo spazio

04 |



05 | *De Ceuvel*, la serra idroponica del Metabolic Lab, Amsterdam. Foto M. D'Ostuni
De Ceuvel, the hydroponic greenhouse of the Metabolic Lab, Amsterdam. Photo: M. D'Ostuni

di sviluppo nella relazione tra spazi dell'abitare e ambienti agricolo produttivi. Le pratiche dell'autoproduzione e dell'*indoor farming* vanno viste all'interno di una relazione osmotica tra l'abitare e il produrre che non è solo di flussi di energia e risorse ma soprattutto di diverse contaminazioni degli spazi, delle funzioni e delle attività (Fig. 6). Pur nella evidente complessità è possibile intravedere l'opportunità per ripensare layout e schemi residenziali ancora abbastanza invariati rispetto al secolo scorso. Sussistono come è intuibile difficoltà tecniche ed economiche non irrilevanti cui vanno aggiunte quelle connesse alle specificità locali e alla dimensione culturale, sociale e lavorativa degli abitanti delle città. Sarebbe irrealistico pensare a una semplice trasformazione delle variegate e dinamiche popolazioni urbane in bucoliche comunità contadine dedite all'autoproduzione. È un percorso che richiede tempo e che ha bisogno più che mai di essere sostenuto da un pensiero progettuale allargato, per precisare i bisogni, ideare nuovi processi e servizi, creare relazioni, opportunità, trovare i nessi nella moltitudine degli aspetti di un problema complesso, con il fine di creare una dimensione abitativa possibile ma anche desiderabile.

Conclusioni

La questione della sicurezza alimentare per città sottoposte a fenomeni di inurbamento progressivamente crescenti richiede una riflessione sui modelli con i quali essa è conseguita. Dalla fine del XIX secolo, quando si è prodotto il progressivo distacco fra la produzione alimentare e la città, si sono sviluppati gli studi sull'Agricoltura Urbana con l'intento di ricongiungere la produzione agricola alle città. Teorici visionari come Yona Friedman del quale apprezziamo oggi la lucida capacità analitica e predittiva, hanno posto il nesso inscindibile fra cibo e ambiente costruito non solo al centro delle azioni di trasformazione sostenibile dell'habitat urbano ma anche dei processi di innovazione del progetto urbano e di architettura. I limiti connessi alla disponibilità di suolo coltivabile e di produzione hanno conferito fino ad oggi a queste visioni un carattere tendenzialmente

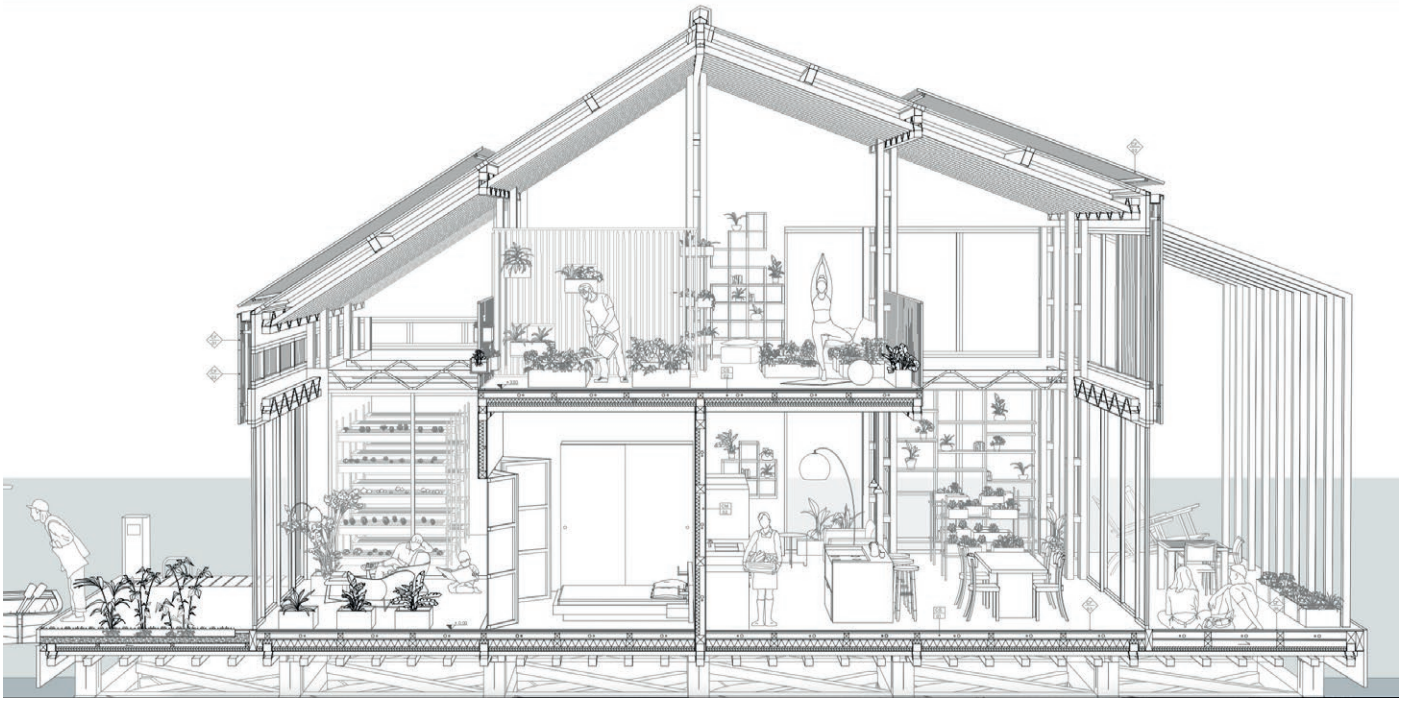
tional agriculture, such as basements, tunnels, or abandoned industrial facilities. These settings present compelling opportunities for repurposing underutilised spaces, brownfields, and marginal urban areas. Increasingly, partnerships between private enterprises and research institutions are transforming these forgotten spaces into productive hubs for urban food cultivation, as seen in projects like Nara Sverige[3] in Stockholm or Tunnel Farm[4] in the air-raid shelters of Torrita di Siena. As agronomic techniques rapidly advance, for example, ongoing experiments at the Department of Agricultural and Food Sciences at the University of Bologna are studying how different light spectra affect the quality, characteristics, and shelf life of leafy greens and vegetables (Carotti *et al.*, 2023) (Fig. 3), it has become increasingly clear that architectural and urban design perspectives must also evolve in parallel to address these developments.

From stand-alone models to a diffused system

Recognising the necessity to cultivate food within urban spaces elevates Urban Agriculture to a pivotal role in circular design strategies. The urban habitat can be reimagined as a vast, interconnected, productive ecosystem, accommodating interventions at multiple scales, from large-scale plant factories to small neighbourhood gardens and domestic cultivation systems. Zfarming techniques provide the flexibility to establish cultivated spaces in different environments and micro-environments, varying in type and size, and distributed across the city. These include blank or secondary façades, interstitial spaces, courtyards, entrances, communal areas, basements, garages, underpasses, flat roofs, terraces, warehouses, and public areas. Building Integrated Agriculture (BIA) focuses on these diverse opportunities for vegetative integration, with applications ranging from interior and product design to new construction, retrofitting existing structures, and creating collective or private spaces. Its impact extends to education, self-sufficiency, social inclusion, dining, recreation, therapeutic horticulture, and overall well-being (Fig. 4). In Brussels, a research initiative led by the Université Libre de Bruxelles in partnership with the social enterprise Refresh[5] established a rooftop vegetable garden atop a supermarket (Perego, 2023). This project addressed agronomic, nutritional, and energy challenges while exploring strategies for community involvement, training, and social engagement. Similar projects, often driven by effective green branding, are emerging globally. For instance, Gotham Greens[6] has developed numerous greenhouse agriculture sites across the United States, utilising underused and low-cost spaces such as factory rooftops and abandoned lots.
In Amsterdam, the De Ceuvel[7] project, sustainable redevelopment of an abandoned boatyard, features the Metabolic Lab and an adjoining greenhouse supplying food to a nearby café. The greenhouse employs an aquaponic system that processes organic waste into compost and fish feed, nourishing the plants that eventually become food for people (Fig. 5). Awareness of the inextricable connection between food and environmental quality is rising. A 2023 Ipsos survey found that one in five respondents viewed adopting a primarily plant-based diet as a mean-

06 | Studi per habitat agri-urbani. LAA Laboratorio di Architettura e Autocostruzione. Dipartimento di Architettura, Università di Firenze. Elaborazione C. Kuhl, M.Linguanti, I.Mereu, E.Moroni
Studies for agri-urban habitats. LAA Laboratory of Architecture and Self-construction. Department of Architecture, University of Florence. Graphic design: C. Kuhl, M.Linguanti, I.Mereu, E.Moroni

06 |



utopico. A distanza di anni l'innovazione tecnologica, e le tecniche di *Zfarming,* aprono nuove possibilità all'integrazione dell'agricoltura negli edifici (*building integrated agriculture*, BIA) e nei tessuti urbani permettendo lo sfruttamento di luoghi prima inutilizzabili. Questa nuova tecnicizzata agricoltura che ha fino adesso trovato prevalente espressione nelle *vertical farms,* si può estendere oggi in maniera diffusa in tutta la città. È in una integrazione multiscalare fra scienze agronomiche, architettura, urbanistica e design che si possono ritrovare quegli elementi capaci di innovare in chiave sostenibile, i processi di rigenerazione e vegetalizzazione dell'habitat urbano e domestico. L'osmosi circolare fra spazi di vita e dell'agricoltura, pur nella consapevolezza delle evidenti complessità tecniche, sociali, organizzative, sembra un terreno promettente per molte forme di progettualità interdisciplinare, capace anche di promuovere una diversa estetica urbana.

ingful personal action against climate change (Ipsos, 2023). This heightened awareness is reflected in the increasing number of greenhouses installed in public spaces, former nurseries, green areas, and flat rooftops in European cities. Just as the Victorian era's orientalist pavilions and *kursaal* symbolised a fascination with exotic cultures, fuelled by tales and images from far-off lands (Kane, 2016), today's urban generations see these sleek, utilitarian greenhouse structures as a representation of their aspirations for greener, healthier cities.

Rethinking residential design: new synergies between agriculture and architecture

Residential design presents significant opportunities for innovation through integrating built environments with soil-free cultivation techniques. By conceptualising housing as a metabolic system, it becomes possible to develop new models for agri-urban habitats characterised by high circularity, efficient resource utilisation, and domestic waste and CO_2 recycling. An illustrative example is the hydroponic greenhouse installed on the rooftop of the Department of Science and Technology at the Autonomous University of Barcelona. This initiative investigates wastewater recovery from bathroom facilities to extract nutrients for hydroponic systems, specifically nitrogen, potassium, and phosphorus. The collected wastewater is directed into a nitrification system, which extracts macro- and micronutrients and renders them suitable for absorption by hydroponically grown plants (Arcas-Pilz *et al.,* 2023).

These systems are also optimised for domestic applications, where renewable energy supports the circular flow of resources required for soil-free cultivation. Such resources include water, nutrients (sourced from wastewater), carbon dioxide (recovered from HVAC systems), and energy (in the form of heat). There is substantial scope for advancing the relationship between residential spaces and productive agricultural environments. Practices such as self-production and indoor farming should be considered within an osmotic framework that integrates living and production processes – not only through the flow of energy and resources but also through the functional and spatial integration of activities (Fig. 6). Despite the evident complexity, these systems offer an opportunity to reconsider residential layouts and designs, which have remained essentially unchanged since the last century. However, significant technical and economic challenges persist alongside those arising from the cultural, social, and occupational diversity of urban populations. It is unrealistic to envisage a straightforward transformation of urban residents into pastoral communities dedicated to self-sustenance. The transition toward such models necessitates sustained effort and a comprehensive design approach. This approach must identify specific needs, conceptualise innovative processes and services, foster new relationships and opportunities, and address the multifaceted aspects of this complex issue. The ultimate objective is to create living environments that are both viable and desirable.

Conclusions

The challenge of achieving food security in cities experiencing rapid urbanisation calls for a critical evaluation of

NOTE

[1] Vedi: https://agricolamoderna.com/

[2] Vedi: https://www.aerofarms.com/

[3] Vedi: https://www.narasverige.se/en

[4] Vedi: https://www.verticalfarmitalia.cloud/project/pixel-farm/tunnel-farm/

[5] Vedi: https://refreshbxl.com

[6] Vedi: https://www.gothamgreens.com

[7] Vedi: https://deceuvel.nl/en/about/general-information/

REFERENCES

Arcas-Pilz, V., Gabarrell, X., Orsini, F. and Villalba, G. (2023), "Literature review on the potential of urban waste for the fertilization of urban agriculture: A closer look at the metropolitan area of Barcelona". *Science of the Total Environment*. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167193 (Accessed on 10/09/2024).

Basso, S., Venudo, A., Bisiani, T. and Martorana, P. (2023), "Vertical farm. New architectures and cities from the forms of agriculture", *AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design*, Vol. 13, pp. 141-152. Available at: https://arts.units.it/handle/11368/3050338 (Accessed on 10/09/2024).

Carotti, L. *et al.* (2023), "Improving water use efficiency in vertical farming: Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation", *Agricultural Water Management* Vol. 285, p. 108365.

Despommier, D. (2010), *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century,* Mc Millan, New York.

D'Ostuni, M., Zaffi, L., Appolloni, E. and Orsini, F. (2022), "Understanding the complexities of Building-Integrated Agriculture. Can food shape the future built environment?", *Futures*, Vol. 144, p. 103061. Available at: https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103061.

Ellen MacArthur Foundation (2019), *Cities and circular economy for food*. Available at : https://emf.thirdlight.com/file/24/K6LOnIrKMZq-8vK6HoTK6iyBra/Cities%20and%20circular%20economy%20for%20food.pdf (Accessed on 15/12/2024).

Evans, D.L., Falagán, N., Hardman, C.A., Kourmpetli, S., Liu, L., Mead, B.R. and Davies, J.A. C. (2022), "Ecosystem service delivery by urban agriculture and green infrastructure–a systematic review", *Ecosystem Services*, Vol. *54*, p. 101405. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101405.

Friedman, Y. (2000), *Utopies réalisables*. Edition de l'eclat, Paris. Traduzione italiana (2003) *Utopie realizzabili*, Quodlibet, Macerata.

Friedman, Y. (2003), *L'architecture de survie.Une philosophie de la pauvreté,* Edition de l'eclat, Paris. Traduzione italiana (2009) *L'architettura di sopravvivenza. Una filosofia della povertà*. Bollati Boringhieri, Torino.

Fox-Kämper, R., Kirby, C. K., Specht, K., Cohen, N., Ilieva, R., Caputo, S. and Béchet, B. (2023), "The role of urban agriculture in food-energy-water nexus policies: Insights from Europe and the US", *Landscape and Urban Planning*, Vol. *239*, p. 104848.

Hamilton, H., Henry, R., Rounsevell, M., Moran, D., Cossar, F., Allen, K. and Alexander, P. (2020), "Exploring global food system shocks, scenarios and outcomes". *Futures*, Vol. *123*, p. 102601. Available at: https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102601.

Holt-Giménez, E. (2019), *Can we feed the world without destroying it?,* John Wiley & Sons. Cambridge.

Ilieva, R.T., Cohen, N., Israel, M., Specht, K., Fox-Kämper, R., Fargue-Lelièvre, A. and Blythe, C. (2022), "The socio-cultural benefits of urban agriculture: a review of the literature", *Land*, Vol. 11, n. 5, p. 622. Available at: https://doi.org/10.3390/land11050622.

Ipsos (2023), *Perils of Perception, Prejudice and Conspiracy Theories*. Available at: https://www.ipsos.com (Accessed on 28/11/2024).

Kane, J. (2016), *The architecture of pleasure: British amusement parks 1900-1939*. Routledge. Available at: https://doi.org/10.4324/9781315612539.

the models used to address this need. Since the late 19th century, when the separation between food production and urban areas began to intensify, the study of Urban Agriculture has sought to reconnect agricultural production with cities. Visionary thinkers such as Yona Friedman, whose analytical and predictive clarity continues to resonate, placed the relationship between food and the built environment at the centre of sustainable urban transformation efforts, and as a driving force for architectural and urban design innovation. Historically, the scarcity of arable land and limitations in production capacity have given these ideas a predominantly utopian character. However, technological advances and the development of Zfarming techniques now open up new possibilities for integrating agriculture into buildings (Building Integrated Agriculture, BIA) and urban environments, enabling the productive use of previously inaccessible spaces. While this highly technical form of agriculture has been primarily realised in vertical farms, its application increasingly extends across broader urban contexts. A multiscale integration of agronomy, architecture, urban planning, and design offers the potential to innovate urban regeneration processes that may allow cities to be green sustainably. Despite the inherent technical, social, and organisational challenges, the circular relationship between living spaces and agriculture provides fertile ground for interdisciplinary design approaches. Moreover, it promises to contribute to the emergence of a new urban aesthetic.

NOTES

[1] Available at: https://agricolamoderna.com/

[2] Available at: https://www.aerofarms.com/

[3] Available at: https://www.narasverige.se/en

[4] Available at: https://www.verticalfarmitalia.cloud/project/pixel-farm/tunnel-farm/

[5] Available at: https://refreshbxl.com

[6] Available at: https://www.gothamgreens.com

[7] Available at: https://deceuvel.nl/en/about/general-information/

Koolhaas, R. and Obrist, H.U. (2011), *Project Japan – Metabolism Talks*, Taschen, Colonia.

Kozai, T., Niu, G. and Takagaki, M. (Eds) (2019), *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic press.

Labatut, B. (2019), *Quando abbiamo smesso di capire il mondo*, Adelphi, Milano

Naidu, R., Biswas, B., Willett, I.R., Cribb, J., Singh, B.K., Nathanail, C.P. and Aitken, R.J. (2021), "Chemical pollution: A growing peril and potential catastrophic risk to humanity", *Environment International*, Vol. 156. Available at: https://doi.org/10.1016/j.

Oecd, F.A.O. (2022), *OECD-FAO agricultural outlook 2023-2032*. Available at: https://openknowledge.fao.org/items/42b06e57-de39-446d-bc18-8e94056374ee.

Orsini, F. and Zauli, I. (2022), "Where to go for sustainable and feasible vertical farming? A journey through resource use, environmental performances and viability indicators". In *XXXI International Horticultural Congress* (IHC2022): International Symposium on Advances in Vertical Farming 1369, pp. 117-124.

Orsini, F., Pennisi, G., Michelon, N., Minelli, A., Bazzocchi, G., Sanyé-Mengual, E., *et al.* (2020), "Features and functions of multifunctional urban agriculture in the global north: a review", *Front. Sustain. FoodSyst.,* Vol. 4, *p. 562513*. Available at: doi: 10.3389/fsufs.2020.562513 (Accessed on 28/07/2024).

Perego, J. (2023), "Per coltivare in città l'orto è sul tetto del supermercato", *La Repubblica*. Available at: https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/05/25/news/orto_urbano_tetto_bruxelles-401566294/ (Accessed on 30/07/2024).

Stanghellini C., Katzin,D. (2024), "The dark side of lighting: A critical analysis of vertical farms' environmental impact", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 458, p. 142359. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142359 (Accessed on 05/07/2024).

UN – United Nations (2024), *World population Prospects. The 2024 Revision*. Available at: https://population.un.org/wpp/ (Accessed on 26/07/2024).

Van Tuijl, E., Hospers, G.J. and van den Berg, L. (2018), "Opportunities and Challenges of Urban Agriculture for Sustainable City Development", *European Spatial Research and Policy*, Vol. 25, n. 2, pp. 5-22. Available at: dx.doi.org/10.18778/1231-1952.

Wheeler, R.M. (2022), NASA's contributions to vertical farming. In *XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Advances in Vertical Farming 1369*, pp. 1-14.

Productive housing for self-sufficient communities

Paolo Cascone[1], https://orcid.org/0009-0008-5436-8552 p.cascone@westminster.ac.uk
Maddalena Laddaga[2], https://orcid.org/0000-0002-0302-9701 maddalena.laddaga@polimi.it
Filippo Orsini[2], https://orcid.org/0000-0002-1146-3583 filippo.orsini@polimi.it
[1] School Architecture and Cities, University of Westminster, London, United Kingdom
[2] Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

Abstract. A causa delle conseguenze del cambiamento climatico e del conflitto ucraino, nel 2022 circa 42 milioni di persone in Europa non hanno potuto sostenere economicamente un adeguato riscaldamento delle proprie abitazioni. Oltre al dibattito politico sul tetto massimo del prezzo dell'energia; come suggerito nel progetto *Green Deal* europeo, gli edifici sostenibili nuovi ed esistenti, in Europa dovranno aprire la strada ad un utilizzo di sola energia rinnovabile ed accessibile. Questo paper descrive una metodologia di progettazione scientifica basata su un'analisi comparativa di casi studio nel campo dell'autosufficienza, dell'energia e dell'autoproduzione alimentare per alloggi collettivi. La base teorica si fonda su una visione diacronica della relazione tra energia, cibo, architettura e le sue filiere di produzione come driver per processi di progettazione innovativi e integrati. Tutto ciò mira anche a sviluppare modelli economici alternativi in cui le comunità assumono la responsabilità di autoprodurre la propria energia ed il cibo, condividendone tecnologie e risorse, modificando il loro ruolo da semplici consumatori a produttori.

Parole chiave: Auto-sufficienza energetica; decarbonizzazione, *vertical farm; collective housing*; produzione di cibo/ energia.

Introduzione

Il *paper* è il risultato di una ricerca interdisciplinare sviluppata in collaborazione tra il Politecnico di Milano e l'Università di Westminster (UK) sull'*housing* performativo che si basa sulla decarbonizzazione dei processi costruttivi e sulla energia rinnovabile in linea con i principi del progetto Green Deal. Prendendo in considerazione anche quanto emerso durante la 3° Conferenza sulla Povertà Energetica 3rd EESC (*European Economic and Social Committee*): "Circa 42 milioni di persone in tutta Europa – il 9,3% dei cittadini dell'UE – non sono stati in grado di mantenere le proprie case adeguatamente calde nel 2022"[1].

La transizione energetica dovrebbe imparare dalle best practices del passato e sviluppare delle tipologie architettoniche innovative ibride che rispondano alle richieste emerse del cambiamento climatico, ed anche dalla crisi energetica e dalla crisi di produzione del cibo.

Le abitazioni collettive sono uno dei settori più colpito dalle crisi, per questo motivo la ricerca introduce uno nuovo approccio alla progettazione integrata che mette insieme produzione di energia e cibo, generando un modello economico innovativo basato sulla decentralizzazione e su un approccio comunitario e cooperativo. Gli scenari attuali in merito alla "giustizia energetica" evidenziano l'urgenza di riconsiderare il sistema di distribuzione in relazione ai fabbisogni delle persone e alle risorse primarie. Allo stesso tempo, è evidente che l'edilizia abitativa è tra i settori maggiormente coinvolti nelle nostre città.

Per questo motivo a partire dalla riflessione di Barnabes Calder in cui si afferma che "fin dai primi edifici di cui gli archeologi hanno trovato traccia, l'energia ha sempre governato l'architettura", riteniamo che "l'economia circolare sia l'unico modo possibile di operare"[2], in continuità con tradizioni millenarie precedenti ai combustibili fossili.

In tal senso il paper propone una metodologia di progettazione scientifica basata su un'analisi comparativa di casi studio opportunamente selezionati; allo stesso tempo è evidente che per sviluppare una transizione ecologica basata su una nuova nozione di autosufficienza in architettura è necessario un approccio progettuale interdisciplinare.

Productive housing for self-sufficient communities

Abstract. Due to the consequences of climate change and the Ukrainian conflict, nearly 42 million people across Europe could not afford to heat their homes properly in 2022. Beyond the political debate on the energy price cap, as recently suggested in the European Green Deal project, refurbished and new sustainable buildings in the EU will need to pave the way for a clean and affordable energy system. The paper will focus on a scientific design methodology based on a comparative analysis of case studies in the field of self-sufficiency, energy and food production in collective housing. The theoretical frame is based on a diachronic vision of relations between energy, food, architecture, and its production chains as drivers for innovative and integrated design processes. This also aims to develop alternative economic models where communities could become more accountable, share resources, and self-produce their energy and food, shifting their role from consumers to producers.

Keywords: energy-sufficiency; decarbonisation; vertical farm; collective housing; energy/food production.

Introduction

This paper is the result of an interdisciplinary research collaboration between the Milan Polytechnic (Italy) and the University of Westminster (UK) on performative housing to achieve decarbonisation and define a clean energy strategy for the built environment according to the European Green Deal project.

The aim of the above is to respond to the main critical issues outlined in the 3rd EESC (European Economic and Social Committee) Conference on Energy Poverty: "approximately 42 million people across Europe – 9.3% of EU citizens – were unable to keep their homes adequately warm in 2022"[1],

Therefore, the energy transition should learn from previous experience to develop innovative hybrid architectural typologies to address climate change, energy and food crisis.

Since collective housing is one of the main affected sectors of such a crisis, the research introduces a new design approach to connect energy and food self-production towards innovative alternative economic models based on decentralised and cooperative community-oriented systems.

The contemporary energy justice scenario highlights the urgency of reconsidering the distribution system, access to raw materials, and people's needs in relation to resources.

Clearly, residential buildings are one of the most significant construction segments in our cities. Barnabas Cal-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16672

La ricerca quindi indaga su una metodologia *design-oriented* che mette in relazione implicazioni architettoniche e spaziali e sistemi tecnologici appropriati per la produzione di energia rinnovabile, la raccolta dell'acqua piovana per usi domestici e *vertical farming*.

D'altro canto, le statistiche sulla crescita futura della popolazione mondiale (Benke and Tomkins, 2017) prodotte dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO, 2016) rivelano che la terra arabile pro capite si sta riducendo, da 0,42 ettari nel 1960 a 0,23 nel 2000, con una riduzione prevista a 0,15 ettari pro capite entro il 2050. L'aumento della popolazione mondiale richiede un corrispondente aumento della produzione agricola e alimentare e la capacità dell'industria agroalimentare dovrà aumentare fino al 70% entro il 2050 per soddisfare le domanda di cibo.

La prevista crescita della popolazione entro il 2050, di cui il 70% dovrebbe vivere nelle città, impone una profonda revisione dei recenti sforzi sulla sicurezza alimentare e dei mezzi per realizzarla.

Una possibile soluzione è quindi quella di includere le aree urbane e gli edifici come parte dei sistemi di produzione anche per mitigare le emissioni di CO_2, molte città già coltivano il proprio cibo fresco con il coinvolgimento dei propri cittadini.

Per questo motivo il paper propone una strategia progettuale che integra architetture produttive ed efficienti energeticamente con il *vertical farming* attraverso lo sviluppo di *rooftop greenhouses* (rtgs); con l'obiettivo di poter contribuire alla riduzione dell'impatto ambientale generato dai centri urbani anche attraverso l'implementazione di attività mirate alla coltivazione e alla sussistenza sociale nelle città (Cabannes and Marocchino, 2018).

Casi studio su housing ed autosufficienza di energia e cibo

Il principale tema di ricerca è la definizione di una metodologia di progettazione basata su soluzioni di autoproduzione energetica e alimentare attraverso lo sviluppo di prototipi abitativi accessibili.

Pertanto, la fase iniziale della ricerca mira a selezionare e analizzare casi studio riferiti a residenze collettive che affrontano il tema dell'autosufficienza dal punto di vista energetico, della raccolta dell'acqua e della produzione alimentare.

In tal senso i principali criteri performativi di tale ricerca si sono basati su soluzioni abitative che rispondono ad almeno uno dei requisiti seguenti:

- utilizzo di sistemi integrati per la produzione di energia rinnovabile (riduzione del fabbisogno produzione, sistema di condivisione di stoccaggio e distribuzione;
- ottimizzazione e raccolta dell'acqua (sistema di riutilizzo e raccolta dell'acqua piovana con sistema di distribuzione, stoccaggio e filtraggio);
- produzione alimentare (agricoltura urbana, coltura idroponica, ecc).

La questione dell'autoproduzione di cibo per le abitazioni è declinata con l'utilizzo delle coltivazioni verticali "*vertical farm*" con un sistema di serre su terrazze condivise per ridurre la richiesta di infrastrutture urbane e rendere le città più autosufficienti.

La scelta di vivere *off-grid* e disconnessi dalle reti energetiche/idriche nazionali o al sistema di distribuzione del cibo, nella maggior parte dei casi non è solo una scelta etica, ma una necessità per molti contesti sociali per un abitare sostenibile.

Questa visione si basa sulla capacità delle comunità locali di

der argues: "From the earliest building archaeologists can trace, energy has always governed architecture." Taking inspiration from the millennia before fossil fuel, when "circular economy was the only economically viable way to operate"[2], the paper will focus on a scientific design methodology based on a comparative analysis of case studies. An interdisciplinary approach is needed to develop an ecological shift based on a contemporary notion of self-sufficiency in architecture. At the same time, the research aims to investigate a design-oriented methodology on the architectural and spatial implications based on clean energy production, water collection and vertical farming.

As a matter of fact, statistics on the future growth (Benke, Tomkins, 2017) of the world population from the United Nations Food and Agriculture Organisation (FAO, 2016) reveal that arable land per person is shrinking from 0.42 hectares in 1960 to 0.23 in 2000, with a projected decline to 0.15 hectares per person by 2050. The increase of the world population requires a corresponding increase in agricultural and food production. The capacity of the agri-food industry shall increase up to 70% by 2050 to meet the food demand. The anticipated population growth by 2050, with an expected 70% of it living in the cities, forces a profound revision of recent efforts on food security and the means to accomplish it.

A feasible option is, therefore, to include urban areas and buildings as part of production systems to mitigate CO_2 emissions. Many cities already cultivate their own fresh food by involving their citizens.

For the above reasons, this paper proposes a strategy that integrates energy efficient architectures with vertical farms and rooftop greenhouses (rtgs). The aim is to reduce the environmental impact of contemporary cities by implementing food and social subsistence (Cabannes, Marocchino, 2018).

Housing, energy and food self-sufficiency case studies

The main research topic is the definition of a design methodology based on energy and food self-production solutions towards affordable housing prototypes. Hence, the initial research stage aimed at collecting and analysing case studies on energy self-sufficient housing, water collection and food production. The main research criteria were based on architectural integrated solutions related to renewable energy (needs reduction, production, shared storage and distribution), water optimisation and collection (reuse system and collecting rainwater with distribution, storage and filter system), as well as food production (urban farming, hydroponics etc).

The question of food self-production for housing scenarios in urban areas is developed as a sort of "vertical farm" system conceived as a sequence of greenhouse grafts on collective terraces and rooftops designed to reduce the demand for urban infrastructure, making cities more self-sufficient.

The vision of living off-grid and disconnected from the energy/water national grids and the global food supply chains is not just an ethical choice but a necessity for sustainable living in many social contexts. Such a vision is based on local communities' capability to organise themself in cooperatives to share resources and technologies that could not be affordable individually.

01 | *BedZed*. Fonte: Tom Chance, CC BY 2.0, *via Wikimedia Commons*
BedZed. Source: Tom Chance, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons

| 01

organizzarsi in cooperative per condividere le risorse e le tecnologie che non sarebbero altrimenti accessibili individualmente. Nonostante sia in aumento l'interesse per un tale modello di "*sharing economy*", c'è purtroppo una carenza di esempi realizzati che integrino allo stesso tempo l'auto-produzione di energia e di cibo. Per questi motivi la ricerca sui casi studio si basa su due categorie principali, la produzione di energia e la coltivazione di cibo, con l'obbiettivo di individuarne i principi fondanti per sviluppare possibili future ibridazioni architettoniche. In tal senso il paper analizza una selezione di casi studio esemplificativi per il loro livello innovativo e per la qualità architettonica.

Housing collettive ed autoproduzione di energia

– *BedZED by ZedFactory / Bill Dunster* (2002, UK)

Contesto e utenti
Il Beddington Zero Energy Development (BedZED) dispone di 83 unità abitative oltre ad uffici e spazi commerciali. Fin dall'inizio il progetto è stato descritto come un nuovo manifesto dell'edilizia sostenibile; dopo vent'anni, questo approccio utopico sembra non aver avuto il successo atteso. (Webb, Downie, 2023).

Strategia bioclimatica
Il progetto prevede una strategia ambientale volta a migliorare le prestazioni della luce diurna, del sistema di raffrescamento e della ventilazione passiva grazie all' elemento cappa colorato sul tetto. Tre sono le principali zone per la disposizione interna che comprendono la veranda a sud-est con funzioni di *buffer* termico per gli alloggi e gli uffici, a nord-ovest invece ci sono gli spazi non ad uso abitativo.

Energia
Il sistema abitativo combina il sistema di riscaldamento con il sistema elettrico, grazie a un importante numero di pannelli fotovoltaici per produrre energia, in parte integrati nel tetto e in parte nei vetri della veranda. Il progetto comprende un sistema solare passivo che permette un buon accesso della luce solare all'interno delle case e della verande-giardini d'inverno.

Acqua
Un sistema di risparmio idrico che include: WC a doppio scarico, sistemi di elettrodomestici a basso consumo idrico, riutilizzo delle acque per le docce, ciò permette una riduzione del 40% di acqua rispetto al consumo medio di residenze nella zona di Sutton.

– *Solarsiedlung am Schlierberg*; la comunità solare/ Rolf Dish (2006, Germania)

Contesto e utenti
Il progetto comprende 58 unità abitative. L'edilizia abitativa è progettata per essere moderna e densa e offre terrazze e giardini

If the interest of such a "sharing economy" model is growing, there is still a lack of built examples of integrated energy and food self-production.
We have thus decided to split our research on precedents into two main categories, precisely energy and food self-production collective housing projects, with a view to possible future hybridisation.
The paper will present a selection of such cases according to their innovative solutions.

Collective housing and energy self-production

– *BedZED by ZedFactory/ Bill Dunster* (2002, UK)

Context and users
The Beddington Zero Energy Development (BedZED) has 83 housing units mixed with work and commercial units. The project was initially described as a new manifesto of sustainable housing; twenty years later, this utopian approach seems to have been unsuccessful (Webb, Downie, 2023).

Bioclimatic Strategy
The project has an environment strategy to improve the performance of daylight, a cooling system and passive ventilation from the coloured wind cowls on the roof. There are three zones for the internal layout, precisely the conservatory in the south-east that works as a thermal buffer zone for accommodation and offices, and in the north-west for special use.

Energy
Furthermore, the dwellings combine heat and power systems, thanks to a large number of photovoltaic panels partly integrated into the roof and partly into the glasses to produce energy. The project covers the required passive solar design, which requires good solar access to sunlight inside the houses and winter gardens.

Water
It is based on a water-saving system: dual-flush toilets and water-efficient washing machines, with a reduction of almost 40% less water than average for homes in Sutton.

– *Solarsiedlung am Schlierberg*, the Solar Community by Rolf Dish (2006, Germany)

Context and users
The project includes 58 residential units. The housing, designed to be modern and dense, provides terraces and gardens for the residents. The homes are both private-owned and others, which are held by the Freiburg Solar Fund.

Bioclimatic strategy
The building's layout further illustrates the concepts of Passivhaus and Plus-energiehaus. These strategies include large, glazed openings on the south façade to maximise solar gain and small openings to the north to minimise heat loss. The massing of the buildings also helps to reduce energy consumption by allowing the low sun angles of the winter to penetrate the houses. Light is admitted in the winter to heat and light the spaces. High sun angles in the summer months are screened by the terraces and the solar array on the roof.

Materiality
Vacuum insulation is used on opaque portions of the façade, and is an innovative strategy in this application. Triple glazing is adopted to reduce heat loss for the façade.

Energy
A project with a significant amount of energy photovoltaic roof production investigated in-depth solar energy-efficient housing, called Energy-Surplus-House.

02 | *Solarsiedlung am Schlierberg*. Fonte: Andrewglaser, CC BY-SA 3.0, *via Wikimedia Commons*
Solarsiedlung am Schlierberg. Source: Andrewglaser , CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

per i residenti. Le case sono un mix tra proprietà private e altre di proprietà del Freiburg Solar Fund.

Strategia bioclimatica
L'orientamento e il layout degli edifici si basa sui concetti di Passivhaus e Plusenergiehaus. Alcune di queste strategie includono grandi aperture vetrate sulla facciata sud per massimizzare il l'ingresso solare e piccole aperture a nord per ridurre al minimo la perdita di calore. La volumetria degli edifici aiuta anche a ridurre il consumo energetico consentendo l'ingresso solare anche nei periodi invernali. La luce naturale invernale ha doppia funzione sia per riscaldare che illuminare gli spazi. L'accesso del sole é elevato nei mesi estivi e pertanto ci sono schermature sia sulle terrazze che dai pannelli fotovoltaici sul tetto.

Materiali
L'isolamento a vuoto viene utilizzato nelle porzioni opache della facciata e questa applicazione rappresenta una strategia innovativa. I tripli vetri vengono utilizzati per ridurre la perdita di calore attraverso la facciata.

Energia
Si tratta di un progetto con una significativa quantità di energia prodotta da tetti fotovoltaici rendendo le abitazioni ad alta efficienza energetica solare, definite *Energy-Surplus-House*.
Gli edifici con funzione mista residenziale e commerciale, condividono la strategia di massima produzione energetica e riduzione del fabbisogno, con la condivisione di tetti fotovoltaici per tutti gli edifici delle comunità. La progettazione consente di usufruire della migliore radiazione solare: orientamento, la corretta sezioni per produrre energia con il fotovoltaico (il tetto ha un angolo di 22 gradi per ottimizzare le prestazioni del fotovoltaico) sul tetto e per l'impianto termico dell'acqua.

Acqua
L'acqua riscaldata sul tetto viene poi utilizzata anche per il riscaldamento degli ambienti interni. L'acqua piovana viene fatta passare attraverso un biotopo per essere purificata e anche per alleviare la pressione sugli scarichi delle acque piovane e per aiutare a ricaricare le falde acquifere della città. Una parte dell'acqua piovana viene raccolta per essere utilizzata come irrigazione del giardino o utilizzata come acque per servizi igienici o docce.

Housing collettive ed autoproduzione di cibo

– *Les Jardins Perchés* / Ateliers AFA e Atelier d'architectures Bourlois (2018, Tour-Francia)

Contesto e utenti
Les Jardins Perchés sono un progetto sperimentale che combina 76 social housing da affittare con un sistema altamente professionale di coltivazione urbana sia sulla copertura delle abitazioni (all'incirca 1000 m^2 di coltivazione di questi circa 776 m^2 in serra) che sul terreno circostante (1200 m^2 area). Con una strategia che comprende sia la protezione dell'ambiente, invogliando i cittadini a rimanere in città sia legandosi ad altre metodologie di coltivazione che sviluppano un economia sostenibile, Tours Métropole Habitat porta insieme la costruzione di social housing e lo sviluppo di *business* di orticultura di professionisti.

Strategia bioclimatica
L'edificio è progettato per limitare i consumi dei futuri affittuari

The mixed-use programme housing and commercial buildings share the energy production strategy. All performances are based on reducing energy needs and maximising production thanks to a photovoltaic roof for all the buildings in the communities. The project is shaped to gain the best solar radiation: orientation, plans, and sections to produce energy with PV (the roof has a 22-degree angle to optimise pv performance) on the roof and for the water thermal system.
Water
Hot water is used to heat the water and the spaces. Rainwater is passed through a biotope to be purified, relieve pressure on stormwater drains, and help recharge groundwater in the city. Some rainwater is captured for use as irrigation in the garden or used as greywater for toilets or showers.

Collective housing and food self-production
– *Les Jardins Perchés* by Ateliers AFA and Atelier d'architectures Bourlois (2018, Tour-France)
Context and users
Les Jardins Perchés is an experimental project that combines the construction of 76 social rental housing units with the creation of a professional urban horticulture farm, both on the roofs of the residences (nearly 1,000 m2 of which can be cultivated, including 776 m2 in a greenhouse) and on the ground (1,200 m2 of cultivable space). To protect the environment and encourage residents to stay in the city, make connections and experiment with other farming methods while developing a sustainable economy, Tours Métropole Habitat undertook the construction of a social housing residence where a professional horticulture business is being developed.

| 02

03 | *Les Jardins Perchés*. Fonte: https://les-jardins-perches.fr/
Les Jardins Perchés. Source: https://les-jardins-perches.fr/

dell'housing sciale. Un edificio efficiente energeticamente con certificati Effinergie (RT 2012 -20%) and BEE+. Spazi verdi coltivati o a giardino per ridurre i costi di manutenzione.

Materiali
Un complesso di 3 edifici collegato da un sistema di passerelle, tutte le unità abitative hanno uno spazio esterno loggia che cattura la luce naturale. Diverse soluzioni di progettazione (luce naturale, area di superficie, irrigazione, il controllo dei costi, la gestione, ecc) sono stati applicate dai due studi di architettura coinvolti nella progettazione per adeguare il *design* architettonico alle abitazione collettive.

Cibo
Coltivato principalmente sul terreno comune delle residenze o in copertura nelle serre (sistema idroponico) con un approccio ambientale "0 Phyto" (le colture sui tetti non sono consentite nel disciplinare biologico). Sul terreno, sono coltivati alberi da frutto e verdura ed ortaggi. In cifre, 1200 m^2 di superficie coltivata a terra e 996 m^2 di superficie coltivata in copertura, di cui 776 m^2 in vetro.

Per un nuovo Metabolismo Per definire un *background* teorico ed innovativo sulle architetture *off-grid* è necessaria una visione radicale per trasformare la progettazione architettonica in una disciplina più integrata.
Tale approccio ha come obiettivo quello di concepire soluzioni abitative e produttive, non intese come edifici tecnologici sconnessi tra loro, ma piuttosto come infrastrutture ecologiche costituite da sistemi architettonici flessibili e interconnessi.

Tale cambio di paradigma implica un approccio trans-scalare alla progettazione architettonica basato sui principi del "metabolismo" per generare edifici pensati come sistemi aperti sviluppati con una logica di scalabilità e incrementalità.
I principi su cui si basa il processo del metabolismo (dal greco: μεταβολή metabolē, "cambiamento"), per cui il corpo si nutre di cibo e bevande per trasformarlo in energia, è piuttosto rilevante anche al fine di generare edifici autosufficienti intesi come organismi interconnessi.
Per trasformare tali principi in soluzioni architettoniche, l'ispirazione viene dal lavoro del movimento "Metabolismo" fondato in Giappone negli anni '60 tra gli altri gli architetti Kiyonori Kikutake, Kisho Kurokawa e Fumihiko Maki influenzati dalle teorie marxiste e dai processi biologici.
Probabilmente uno dei precedenti più interessanti di architetture produttive è il progetto utopico "*Agricultural City*" di Kisho Kurokawa basato sulla nozione di griglia come infrastruttura architettonica che ha aperto la strada a "concetti chiave del metabolismo: prefabbricato, capsula, crescita cellulare, metafore biologiche per pianificazione urbana su scala nazionale"[3]
Nel 1959, il tifone Ise Bay devastò l'area agricola di Aichi; Kurokawa, dopo il tifone, progettò un concetto visionario. Il proget-

Bioclimatic strategy
The building is designed to limit the bills of future tenants. It is an energy-efficient building with Effinergie certification (RT 2012 -20%) and BEE+ certification, which limits energy consumption. Green spaces cultivated or landscaped by the gardener to reduce exterior maintenance costs.
Materiality
The complex consists of 3 buildings connected by overhead walkways. All dwellings have an outdoor space (loggia) to take advantage of the sun. Numerous criteria (sunlight, surface area, irrigation, flow management, cost control, etc.) were studied by the two architectural firms to adapt the architectural design to the collective housing.
Food
Crops are grown mainly in the open ground, in the heart of the residence, and on the rooftop in greenhouses (aquaponics) with a "0 Phyto" environmental approach (rooftop crops are not allowed under the organic specification). On the ground, fruit trees and shrubs complement the outdoor crops. In figures, 1200 m2 of cultivated area on the ground and 996 m2 of cultivated area on the roof, including 776 m2 in glass.

Towards a new Metabolism
To shape a new theoretical and interdisciplinary background towards off-grid architectures, a radical vision is needed to transform architectural design as a more systemic discipline. The aim is to conceive productive housing solutions not just as disconnected technological buildings but more as ecological infrastructures made out of flexible and interconnected architectural systems. Such change of paradigm implies a trans-scalar approach to architectural design based on "metabolism" principles to generate buildings as open systems developed within a scalability and incrementality rationale.
The principles related to the process of metabolism (from Greek: μεταβολή metabolē, "change"), by which the body changes food and drink into energy seems relevant to develop a set of life-sustaining solutions to generate buildings as interconnected organisms.
To translate such principles into architectural solutions, the inspiration comes from the work of the "Metabolism" movement founded in Japan in the 1960s by architects Kiyonori Kikutake, Kisho Kurokawa and Fumihiko Maki, among others, influenced by Marxist theories and biological processes.
Probably one of their most interesting precedents of productive architectures is the utopian project "Agricultural City" by Kisho Kurokawa based on the notion of grid as an architectural infrastructure where he pioneered "key metabolism concepts: prefab, the capsule, cellular growth, biological metaphors for urban planning on a national scale"[3]. In 1959, Typhoon Ise Bay devastated Aichi's agricultural area. Kurokawa designed a visionary concept after the typhoon. The project develops agricultural settlements based on a grid above ground level (4m) to avoid river flooding.
The infrastructural grid is conceived to host roads, water services, electricity, etc.; and a second grid level above the ground incorporates all the facilities. The housing unit allocated inside the grid is autonomous and connected with others. The unit has a cantilevered structure roof with a mushroom shape. The project inspires a concept design where the grid could be a generative and incremental system.

04 | Sinistra: *the Agricultural city project by Kisho Kurokawa*. Fonte: *Kisho Kurokawa architect and associates*. Destra: *the three-dimensional grid system for productive housing solutions, drawing by* Maddalena Laddaga

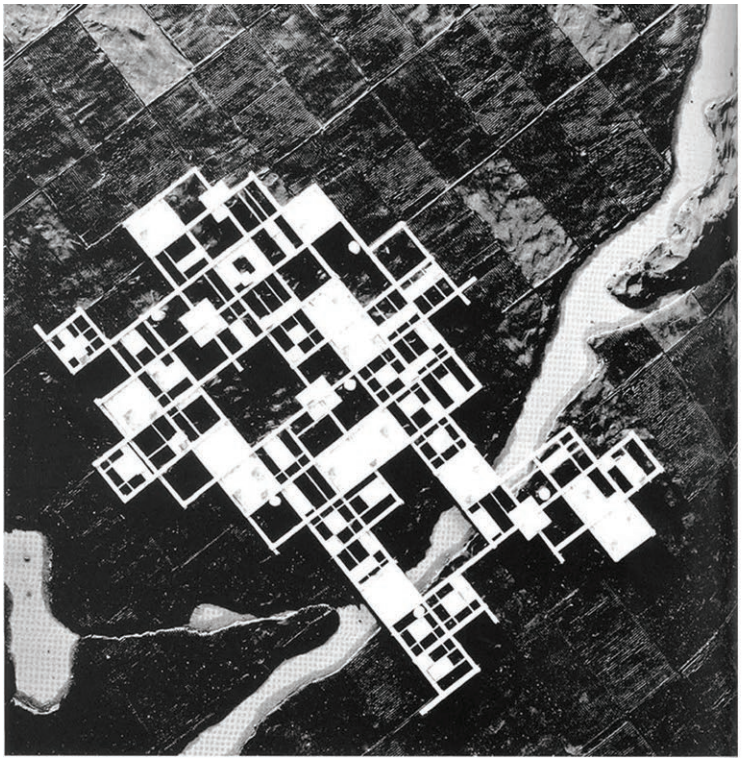
Left: the Agricultural city project by Kisho Kurokawa. Source: Kisho Kurokawa architect and associates. Right: the three-dimensional grid system for productive housing solutions, drawing by Maddalena Laddaga.

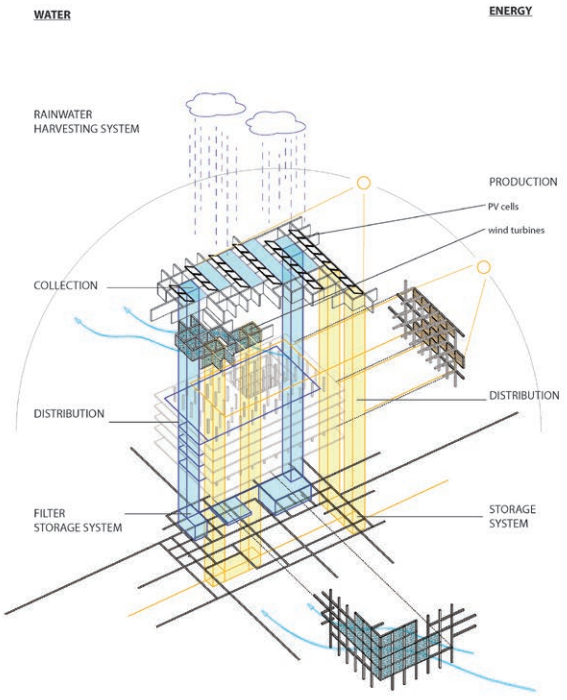
to propone insediamenti rurali su una griglia sopraelevata del suolo (4 m) per evitare le inondazioni.
Inoltre la struttura a griglia ospita strade, servizi idrici, elettricità, ecc.; un secondo livello della griglia fuori terra incorpora tutti i servizi.
L'unità abitativa allocata all'interno della rete è autonoma ma collegata con altre; l'unità ha una copertura con struttura a sbalzo a forma di fungo. Il progetto è interessante per l'idea di griglia nella progettazione che è un sistema generativo ed incrementale.
Al giorno d'oggi questo argomento ha attirato un'attenzione significativa rappresentando una soluzione sostenibile e intelligente basata su sistemi esistenti in natura che può migliorare la resilienza, la sicurezza alimentare e l'autosufficienza delle città (Goodman, 2019; Pulighe, 2019).
Perciò la reinterpretazione ecologica dell'approccio dei Metabolismo ed il progetto Agrocity sono cruciali per dare forma al futuro delle comunità *off-grid*.
La potenzialità di tale approccio infrastrutturale consiste, aldilà del modello organizzativo della griglia, nella capacità di produrre nuove tipologie ibride per evitare il consumo di suolo per la coltivazione oltre che come una risorsa aggiunta (biomasse) per l'autoproduzione di energia rinnovabile.

Design-Driven Ricerca Metodologica

Attraverso un'analisi critica dei casi studio sopra menzionati, la ricerca esplora una metodologia di progettazione *information-based* che tenga insieme sia gli aspetti infrastrutturali che quelli tecnologici in un sistema di architetture *off-grid* interconnesse.
Tale metodologia è stata precedentemente sviluppata per il contesto africano nell'ambito del progetto di ricerca AOH finanziato dall'UKRI diretto da Paolo Cascone e successivamente testata per diversi contesti sociali e climatici (tropicali, temperati e continentali) durante la sua *Masterclass* presso la Advanced School of Architecture del Politecnico di Milano (2022, Milano) diretta da Prof. Pierre-Alain Croset.
Inoltre, tale approccio metodologico è integrato da alcuni concetti progettuali sviluppati nel quadro della ricerca STR.A.ME[4], diretto dal Prof. Filippo Orsini, sul potenziale sviluppo di strategie urbane legate alla coltivazione per insediamenti residenziali.
La metodologia progettuale, sviluppata attraverso simulazioni ambientali e prototipi fisici e digitali, ha generato un catalogo di soluzioni abitative produttive e *site-specific* basate sui seguenti concetti:

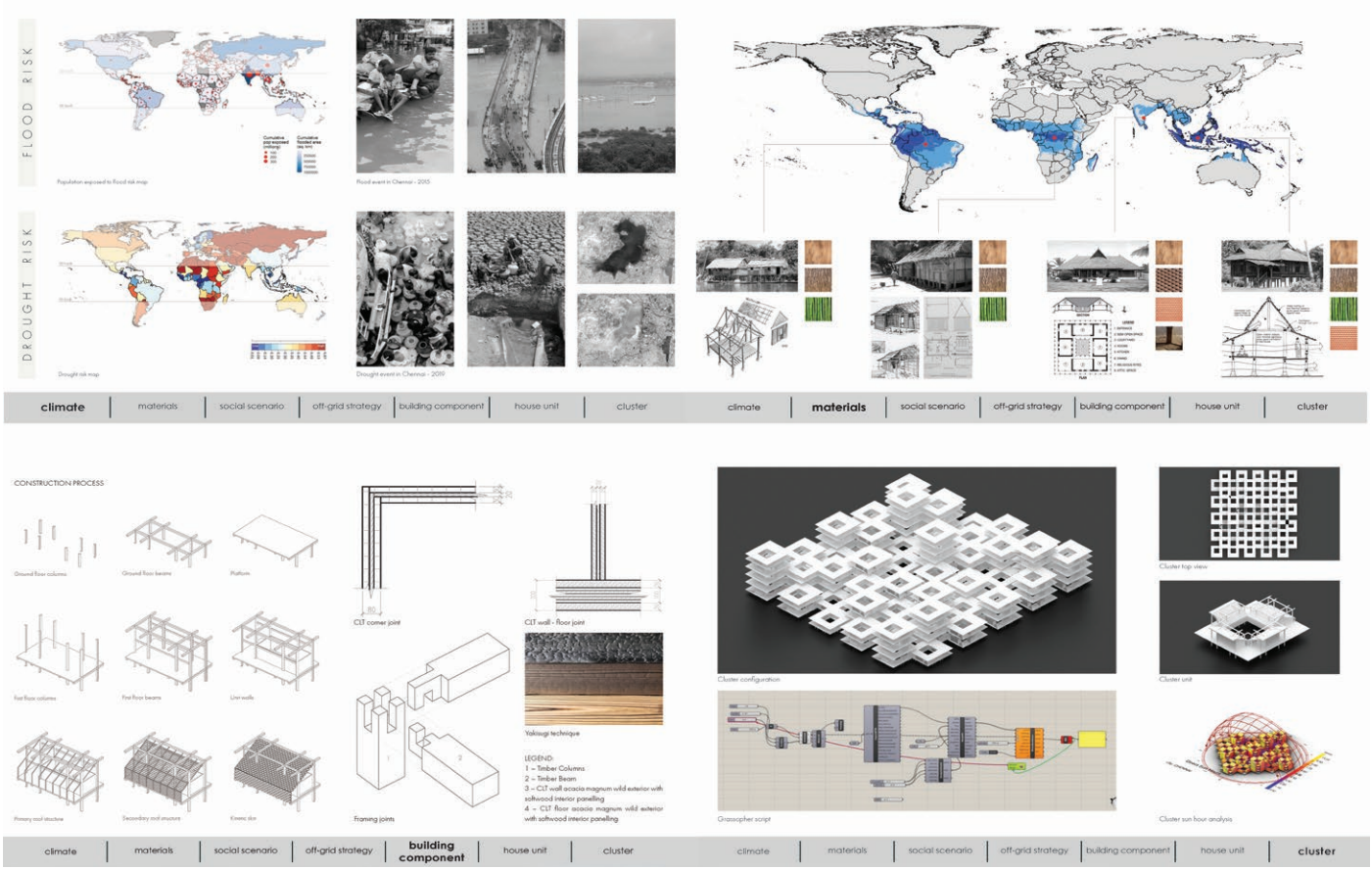
04 |





05 | *ASA project, Masterclass* P. Cascone 2022. Tropical Climate, Chennai – India. (Studenti: Carlos David Arcos Jácome, Shiryu Kawamura, Alina Kim Simon Johan Muller, Alessia Sassone , Ummi Fathima Zakir Hussain)

ASA project, Masterclass P. Cascone 2022. Tropical Climate, Chennai – India. (Students: Carlos David Arcos Jácome, Shiryu Kawamura, Alina Kim Simon Johan Muller, Alessia Sassone, Ummi Fathima Zakir Hussain)



– Scenario sociale e tipologie abitative diversificate. Le tipologie delle unità abitative accessibili dovranno rispondere alle esigenze spaziali di diversi utenti, che potrebbero comprendere: studenti, persone svantaggiate, migranti, ecc. Il cluster abitativo dove essere assemblato con l'obiettivo di generare programmi di uso misto e strutture condivise. La diversità sociale e funzionale sarà bilanciata anche con i fabbisogni energetici.

Nowadays, this topic has attracted significant attention as a sustainable and intelligent nature-based solution that can improve resilience, food security and self-sufficiency of cities (Goodman 2019; Pulighe, 2019).
Hence, the ecological re-interpretation of the Metabolists approach and the Agrocity project would be crucial to shape the future of contemporary off-grid communities.
The potential of such an infrastructural approach, apart from the grid organisational model, would also be to develop new hybrid scalable typologies able to use the waste of food production as an additional resource (biomass) to self-produce clean and renewable energy.

Design-Driven Research Methodology
Given the critical understanding of the above precedents, the research explores an information-based design methodology to merge both the infrastructural and the technological aspects into a system of interconnected off-grid architectures.
Such methodology has been previously developed for the African context as part of the AOH research (UKRI funded) project directed by Dr. Paolo Cascone, and subsequently tested for different social and climatic (tropical, temperate and continental) contexts during his Masterclass at the ASA – Advanced School of Architecture (2022, Milan) directed by Prof. Pierre-Alain Croset at the Milan Polytechnic. Moreover, this methodological approach is integrated with some design principles tested in the framework of the STR.A.ME[4] research project, directed by Prof. Filippo Orsini, on potential improvement of urban strategies related to food sustenance for housing settlements.
The integrated design approach, developed through digital environmental simulations and physical prototypes, has generated a catalogue of site-specific productive housing solutions based on the following key concepts:
– Social scenario and housing diversified typologies. The housing unit typologies will have to be affordable and respond to the spatial needs of different users, including students, disadvantaged people, migrants, etc. The housing cluster would need to be assembled with the aim to generate mixed use programmes and shared facilities. Such a social and programmatic mix will balance the energy needs.
– Climate and off-grid strategy. The local climatic context informs site-specific off-grid strategy according to the environmental micro-climatic analysis also in relation to local vernacular bioclimatic solutions, namely passive (thermal insulation/ passive ventilation/daylight); active (renewable energy /water and sanitation /food self-production).
– Circularity and material systems. Local climate will inform the selection of main construction materials: natural and recycled. The kind of material and its physical properties will change according to what is available onsite in relation to the different climatic regions. By selecting the different kinds of material, designers have to take into account its embodied carbon with the aim of minimising greenhouse gas emissions for the whole process.
– Building components and ecological construction systems. The dimensions of building components would be related to the chosen material system, whose thickness

– Contesto climatico e strategia *off-grid*. Le caratteristiche climatiche informano la strategia *off-grid* in base alla analisi specifica del sito e le analisi delle soluzioni bioclimatiche vernacolari locali: passivo (isolamento termico/ventilazione passiva/luce naturale); attivo (energie rinnovabili/acqua e servizi igienico-sanitari/autoproduzione alimentare).
– Circolarità e sistemi materiali. Il materiale locale e naturale sarà il principale materiale da costruzione: il tipo di materiale e le sue proprietà fisiche cambiano a seconda di ciò che è disponibile in cantiere in relazione alle diverse regioni climatiche. Nella selezione dei diversi tipi di materiale, i progettisti devono tenere conto dell'*embodied carbon* con l'obiettivo di ridurre al minimo le emissioni di gas serra per l'intero processo.
– Componente costruttivo e sistema costruttivo ecologico. Le dimensioni dei componenti costruttivi sono legate al materiale scelto; il suo spessore potrebbe cambiare a secondo delle diverse strategie. I sistemi di costruzione e assemblaggio cambiano secondo diverse strategie in relazione all'interazione tra tecnologie di fabbricazione digitale e tecniche locali. Il sistema costruttivo è costituito da una struttura primaria e secondaria che deve essere facilmente maneggiabile e smontabile in cantiere.
– Prefabbricazione e customizzazione di massa. la composizione progettuale deve sviluppare cataloghi di possibili variazioni a diverse scale: variazione di componenti edilizi/pannelli (perforazioni, giunti, ecc.), variazioni di unità abitative, variazioni di cluster con più unità assemblate orizzontalmente e verticalmente. Ogni configurazione deve fornire una strategia incrementale che dimostri la possibile di evoluzione spaziale e volumetrica del progetto nel tempo.
– *Farming units* e infrastrutture urbane. La relazione tra moduli di agricoltura urbana e infrastrutture urbane esistenti, fornite di accesso ai servizi (acqua, elettricità) in grado di rispondere al fabbisogno per unità per lo sviluppo di moduli autosufficienti
– *Condenser* sociali ibridi e produzione alimentare monofunzionale. La relazione tra moduli connessi a comunità urbana, aprono la ricerca a sistemi di organizzazione o autoorganizzazione per la governance dei moduli, per la gestione dal basso del sistema di produzione e distribuzione.

La metodologia esplora un'idea innovativa di industria delle costruzioni sostenibile in grado di fornire un abaco di possibili configurazioni integrate di abitazioni *site-specific e off-grid*. Tale industria ecologica è basata su una rete di laboratori produttivi situati in diverse regioni climatiche in grado di fornire soluzioni on demand, trasformando e assemblando sistemi di materiali locali in componenti architettoniche performanti in loco. Per rendere sostenibile questa catena di produzione, il *network* condivide protocolli di fabbricazione che vanno dal design alla realizzazione.

Conclusioni

Un approccio integrato ad una progettazione tesa alla costruzione di soluzioni abitative off-grid indica un possibile percorso per un architettura più ecologica, che si fonda sui principi della sharing-economy per un accesso più democratico all'energia riducendo l'impatto ambientale dei sistemi di produzione e distribuzione centralizzati.

could change according to chosen strategy. The construction and assembly systems will change according to different strategies in relation to the interaction between digital manufacturing technologies and local techniques. The construction system could be made by a primary and secondary structure, and will have to be easy to assemble and dismantle on-site.
– Smart prefabrication and mass customisation. The design composition has to develop catalogues of possible variations at different scales, precisely building component/panel variation (perforations, joints, etc), housing unit variations, cluster variations with more units assembled together horizontally and vertically. Each configuration has to provide an incremental strategy explaining the project's possible spatial and volumetric evolution over time.
– Farming units and urban infrastructure. The relationship between urban agriculture modules and existing urban infrastructure, primarily the provision of services (water, electricity) capable of meeting the demand per unit for the development of a "self-sufficient" module.
– Hybrid social condenser and monofunctional private food producer. The relationship between the module network and the urban community, opening investigations in the direction of organisational and self-organisation forms among those involved in module management, and the 'downstream' chain of product processing and distribution.

Such design methodology explores an innovative idea of a sustainable construction industry that can provide a catalogue of possible integrated configurations for site-specific and off-grid housing. Such an ecological industry will be based on a network of manufacturing laboratories located in different climatic regions able to provide on-demand solutions, transforming on-site local material systems into performative building components. To make this production chain sustainable, the network would need to share design-to-manufacture protocols.

Conclusions

An integrated approach to design and build off-grid housing solutions offers a pathway towards a more ecological architecture that prioritises a sharing economy to generate more democratic access to energy and food, reducing the environmental impact of centralised systems.

Beyond the built examples of the past and the increasing number of building regulations and certifications, a cultural shift is needed to make off-grid solutions not only economically convenient but also architecturally interesting and spatially flexible.

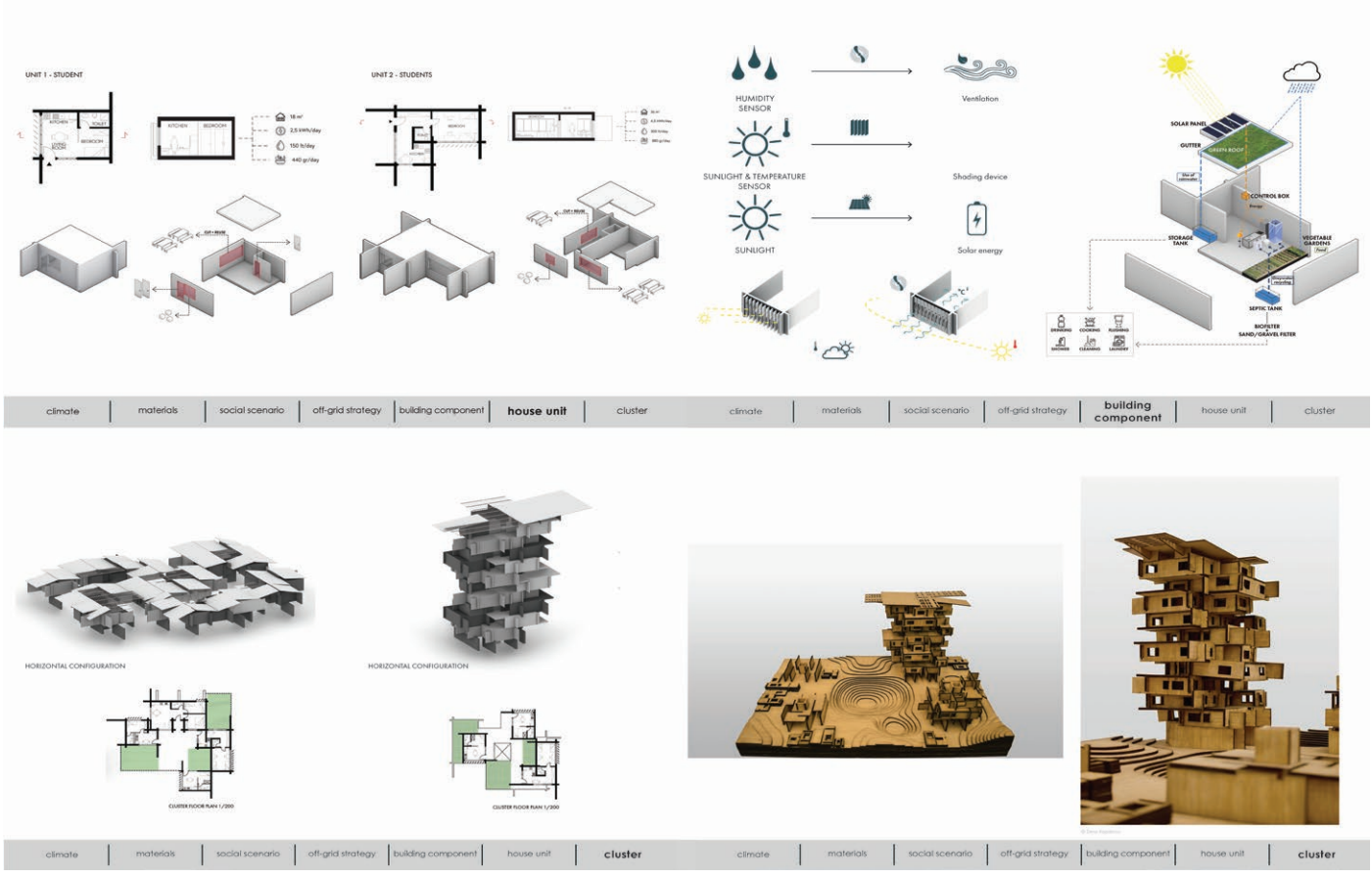
As a matter of fact, the necessity to merge different technologies and spatial requirements into one integrated architectural device needs an adequate design for the building process. A potential direction of this design-driven research is to stress the two core components of the grid, the first being an infrastructural hardware capable of connecting the energy-water-food cycle (e.g.: from organic food waste, through a specific anaerobic digestion process, producing biogas and consequently heat for electrical or thermal energy). The second is a software grid, composed of a set of structural and completion elements, for the configu-

06 | *ASA project, Masterclass* P. Cascone 2022. TEMPERATE CLIMATE Milan – Italia. (Studenti: Ara Ibrahim, Alice Miloni, Nehir Özdemir Selin Yavuz , Andrea Di Tommaso , Gabriele Licciardi)
ASA project, Masterclass P. Cascone 2022. TEMPERATE CLIMATE Milan – Italy. (Students: Ara Ibrahim, Alice Miloni, Nehir Özdemir Selin Yavuz, Andrea Di Tommaso, Gabriele Licciardi)

Al di là degli esempi realizzati nel passato e dell'aumento delle normative e delle certificazioni edilizie, è necessario un cambiamento culturale per rendere le soluzioni *off-grid* non solo accessibili economicamente ma anche architettonicamente interessanti e spazialmente flessibili.
Infatti, la necessità di fondere diverse tecnologie ed esigenze spaziali in un unico dispositivo architettonico richiede un adeguato processo che parte dalla progettazione ed arriva alla costruzione.
Una strada percorribile dalla ricerca, *driven by design*, è di mettere in risalto le due componenti principali della griglia: un'infrastruttura capace di connettere i cicli di energia-acqua-cibo (ad esempio dagli scarti della coltivazione organica, tramite uno specifico processo anaerobico, produzione di biogas e conseguente sistema termico di riscaldamento o elettrico) con uno sistema di griglia, composte da un set di elementi strutturali, per configurare spazi vivibili e sostenibili.
A partire dal numero limitato di esperienze realizzate, è evidente la necessita di continuare a sviluppare il lavoro di ricerca attraverso lo sviluppo di modelli e prototipi.

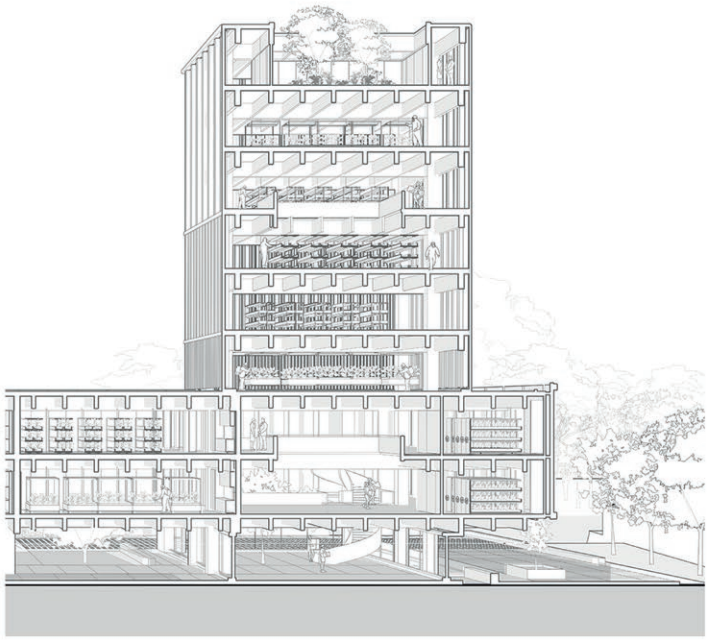
In tal senso, per evolvere questo processo architetti e stakeholder dovranno lavorare ad un approccio progettuale più sperimentale teso a testare prototipi in scala 1 a 1, sia delle unità abitative che dei cluster residenziali, in grado di rispondere alle esigenze del mercato.
Pertanto, il ruolo delle università sarà cruciale nel prossimo futuro per accelerare tale transizione attraverso sperimentazioni fisiche in collaborazione con l'industria dell'energia e quella delle costruzioni. Tale sperimentazione richiede la creazione di laboratori di ricerca interdisciplinari che coinvolgano designer, ingegneri ambientali, botanici ed economisti.
Il ruolo degli economisti appare rilevante per creare un modello economico alternativo in cui gli utenti diventeranno produttori, quindi coinvolti proattivamente nella governance delle loro comunità *off-grid*, con un cambio di paradigma che rende gli utenti più responsabili, anche nell'ottimizzare i consumi di energia, cibo e acqua.
Per le ragioni di cui sopra, uno degli scopi principali di questo paper è quello di preparare il terreno per la creazione di un la-

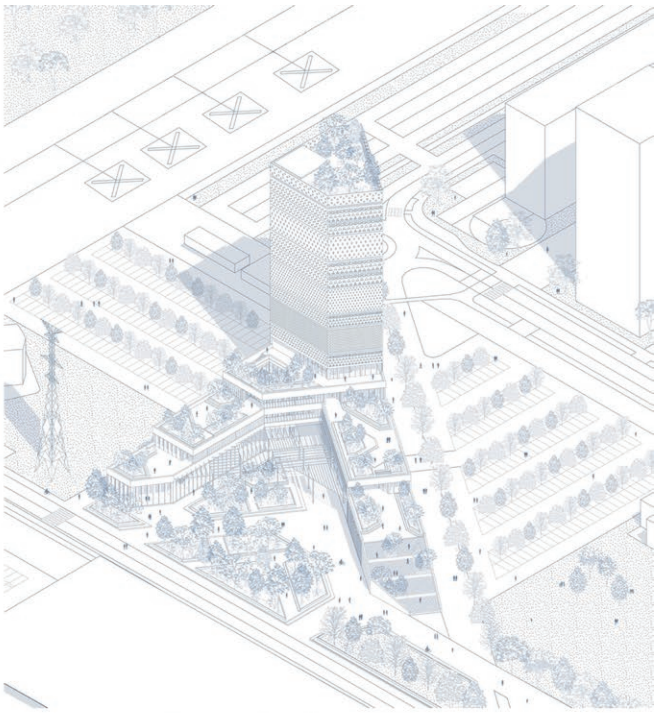
| 06

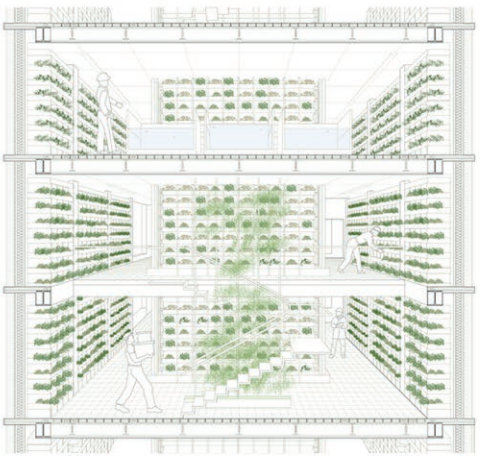


07 | *Vertical farming: hybrid and mono-functional productive building*, 2020/21, *Architectural Design Studio* F. Orsini (studenti: A. Gabbari, A.G. Florea,M. Fasciolo, M.Nobis, R. Moroni, G. Redolfi)
Vertical farming: hybrid and mono-functional productive building, 2020/21, Architectural Design Studio F. Orsini (students: A. Gabbari, A.G. Florea, M. Fasciolo, M. Nobis, R. Moroni, G. Redolfi)

07 |







ration of flexible and sustainable living spaces. Starting from the very limited number of experiences, it is evident that more research work still needs to be done on developing models and prototypes. To improve such a process, architects and stakeholders would need a more experimental approach to design, build and test 1:1 scale prototypes of both housing units and clusters before going to market.

Therefore, the role of universities will be crucial in the near future to accelerate such transition through physical experimentations in collaboration with the energy and construction industries.

Such experimentation would need the creation of interdisciplinary research laboratories involving designers, environmental engineers, botanists and economists.

The role of economists seems relevant to create an alternative economic model where consumers will become producers who are proactively involved in the governance of their off-grid communities.

Such change of paradigm will make users more responsible, with the aim of optimising their energy, water and food consumption.

For the above reasons, one of the main purposes of this paper is to pave the way for the creation of an applied research laboratory in the field of off-grid architecture towards a Climate Neutral urban environment.

NOTES

[1]EESC, "Tackling energy poverty for a just transition". Last modified 19 July 2023. Available at: https://www.eesc.europa.eu/en/agenda/our-events/events/tackling-energy-poverty-just-transition.

[2]Barnabas Calder, "Form follows fuel", *The architectural review* n°1495, (October 2022): 6-12.

[3]Rem Koolhaas, and Obrist Hans-Ulrich,"Kisho Kurokawa" in *Project Japan : Metabolism Talks.…* Edited by Kayoko Ota and James Westcott. 372-408. Köln: Taschen, 2011.

[4]STR.A.ME research project (P.I. Filippo Orsini), financed by RIBA (RIcerca di BAse, i.e. basic research), an initiative of the Department of Architecture and Urban Studies (DASTU) of the Politecnico di Milano.

boratorio di ricerca applicata nel campo delle architetture *off-grid* verso scenari urbani sempre più *Climate Neutral*.

NOTE

[1]EESC, "Tackling energy poverty for a just transition". *Last modified July* 19, 2023. *Available at*: https://www.eesc.europa.eu/en/agenda/our-events/events/tackling-energy-poverty-just-transition.

[2]Barnabas Calder , "Form follows fuel", *The architectural review* n°1495, (October 2022): 6-12.

[3]Rem Koolhaas and Obrist Hans-Ulrich,"Kisho Kurokawa" in *Project Japan: Metabolism Talks…* Edited by Kayoko Ota and James Westcott. 372-408. Köln: Taschen, 2011.

[4]STR.A.ME research project (P.I. Filippo Orsini), financed by RIBA (RIcerca di BAse, i.e. basic research), una iniziativa del Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DASTU) del Politecnico di Milano.

REFERENCES

ASA, Advanced School of Architecture (2022), Booklet ASA Masterclass P. Cascone, Director Pierre-Alain Croset. Students: Carlos David Arcos Jácome, Shiryu Kawamura, Alina Kim Simon Johan Muller, Alessia Sassone, Ummi Fathima Zakir Hussain, Avide Francesco Avesani, Denis Kapitanov, Zirong Song Milena Sharkova, Mona Nheili, Marco Stringhetti, Ara Ibrahim, Alice Miloni, Nehir Özdemir Selin Yavuz, Andrea Di Tommaso, Gabriele Licciardi, Noora Khaled Ali Ebrahim Husain Alhashimi, Emily Marie Shiga. Uow Students: Agathe Alexandre, Mette Pedersen, Edoardo Ripamonti, Rofayda Salem. Available at: https://www.auic.polimi.it/fileadmin/user_upload/auic/scuola/asa/2-edizione/BOOKLET_1st_ASA_aa_2022-2023.pdf (Accessed on 04/11/2024).

Barthel, S. and Isendahl, C. (2013), "Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities", *Ecological Economics n.86*.pp 224-234. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.06.018.

Calder, B. (2022), *Architecture: From Prehistory to Climate Emergency*, Penguin Books, London.

Calder, B. (2022), "Form follows fuel", *The architectural review n°1495*, pp. 6-12.

Despommier D. (2019), "Vertical farms, building a viable indoor farming model for cities", The journal of field actions, Special Issue 20, pp. 68-73. Available at: https://journals.openedition.org/factsreports/5737 (Accessed on 06/02/2025).

Dunster, B. (2018) *Zedlife: How to Build a Low-Carbon Society Today.* RIBA publishing, London.

Dunster, B., Simmons, C. and Gilbert, B. (2008) *The ZEDbook: solutions for a shrinking world.* Taylor & Francis, Abingdon.

Dunster, B. (2010) "The ZEDfactory" in Mostafavi, M. and Doherty, G. *(Eds), Ecological Urbanism* Harvard University, Graduate School of Design, Lars Müller Publishers, Baden, Switzerland, pp. 274-279.

European Commission (2020), *A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives.* Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662. (Accessed on 07/10/2024).

EESC (2023), *Tackling energy poverty for a just transition*. Available at: https://www.eesc.europa.eu/en/agenda/our-events/events/tackling-energy-poverty-just-transition (Accessed on 07/10/2024).

Koolhaas, R. and Obrist, H.U. (2011), *Project Japan: Metabolism talks.* Edited by K. Ota and J. Westcott. Köln Taschen.

Mancebo, F. (2018), "Gardening the city: addressing sustainability and adapting to global warming through urban agriculture", *Environments, Vol. 5*, n. 3. Available at: https://doi.org/10.3390/environments5030038.

Orsini F. (2022) "Food Vertigo. Processes and devices for metropolitan food resilience", *TECHNE, Vol. 23.* Available at: https://doi.org/10.36253/techne-12139.

Orsini F. and others, (2023) "*Metropolitan Farms: Long Term Agri-Food Systems for Sustainable Urban Landscape",* in *Technological Imagination in the Green and Digital Transition,* The Urban Book Series, Springer Publ. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-29515-7.

Pulighe, G. and Lupia, F. (2019), "Multitemporal Geospatial Evaluation of Urban Agriculture and (Non)-Sustainable Food Self-Provisioning in Milan, Italy", *Sustainability,* Vol. *11*, n. 7. Available at: https://doi.org/10.3390/su11071846.

Salleh, A. M., Harun, N. Z., & Halim, S. A. (2020), "Urban Agriculture as a Community Resilience Strategy against Urban Food Insecurity", *Environment-Behaviour Proceedings Journal, Vol. 5, n. 13*. Available at: https://doi.org/10.21834/e-bpj.v5i13.2047.

Webb, S. and Downie, P. (2023) "Revisit BedZED", *The architectural review n°1500*, pp. 108-117.

Linee di tendenza nella progettazione di *vertical farm*. Verso un approccio biodinamico?

Gian Luca Brunetti, https://orcid.org/0000-0002-4476-6775
Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia
gianluca.brunetti@polimi.it

Abstract. Il contributo fa il punto sullo stato dell'arte nell'ambito delle esperienze di coltivazione verticale che hanno sperimentato approcci alternativi a quello prevalente, oggi orientato al controllo attivo – dei preparati nutrienti, delle condizioni microclimatiche e delle condizioni di illuminazione – e spesso scarsamente consapevole delle relazioni urbane. Queste sperimentazioni contrappongono all'approccio consolidato un approccio naturale, basato sulla creazione di suoli in elevazione, chiusura dei cicli biologici, climatizzazione passiva, massimizzazione dell'illuminazione naturale, che presenta vantaggi funzionali consistenti, incoraggiando la intessitura di relazioni con i contesti. Tra questi vantaggi vi è la riduzione degli impatti ambientali complessivi e del tasso di agenti patogeni operanti sui vegetali.

Parole chiave: V*ertical farm*; Serra solare; Guadagno solare passivo; Coltivazione in serra; Agricoltura urbana

Introduzione

Il concetto di *vertical farm* è affiorato sulla scena del dibattito architettonico all'inizio degli anni 2000 (Despommier, 2011) nel contesto della stessa esigenza culturale che ha generato i concetti della coltivazione urbana interstiziale (Hallet *et al*., 2016), della coltivazione su coperture verdi (Walters and Stoelzle Midden, 2018), delle facciate verdi (Manso e Castro-Gomez, 2015) e della riforestazione urbana come risposta ai cambiamenti climatici (Teo *et al*., 2021) (Fig. 1). Il presente contributo investiga lo stato dell'arte nell'ambito delle sperimentazioni sulle *vertical farm* ed individua approcci alternativi a quelli prevalenti (Teo *et al*., 2024), ed orientati ad una maggiore sostenibilità ambientale.

Le *vertical farm* ampliano il concetto di serra agricola ibridandolo con il modello della serra botanica di grande altezza (Fig. 2), sviluppandolo all'interno di una visione urbana ad alta densità, ma contrariamente alle serre solari agricole, e ancor più, delle serre agricole climatizzate in modo attivo (che, per motivi socioeconomici e culturali, costituiscono la gran parte delle infrastrutture a serra nel mondo occidentale, in linea con quanto accade nel campo dell'architettura) – generano impatti complessivi che, secondo molti ricercatori, sono non ambientalmente sostenibili. A questa troppo modesta sostenibilità e all'alto costo economico è probabilmente attribuibile il fatto che le *vertical farm* siano oggi ancora poco diffuse. La nazione con il maggior numero di unità operanti sono gli Stati Uniti, che ne hanno un centinaio. La quantità di *vertical farm* costruite è quindi ancora troppo bassa per incidere in modo sostanziale sugli impatti ambientale della produzione agricola e sui consumi urbani; ma essa potrebbe aumentare qualora la situazione di vivissimo interesse a cui si sta assistendo perdurasse.

L'insostenibilità del modello "consolidato" di *vertical farm* sembra derivare dalla combinazione di tre specifici tipi di problemi funzionali connessi alla coltivazione in altezza:

1. problemi strutturali, generati dal fatto che i carichi consistenti derivanti dall'utilizzo di terreno in altezza richiedono investimenti di risorse significativi, paragonabili a quelli di solito riservati ad ambienti ospitanti persone;
2. problemi di controllo delle condizioni igrotermiche, derivanti dal fatto che l'alta densità insediativa degli ambienti urbani rende arduo ottenere condizioni di esposizione solare e ventilativa ottimali, indispensabili al controllo ambientale bioclimatico passivo;
3. problemi di illuminazione naturale, generati dalla combinazione dell'alta densità degli insediamenti urbani e l'impossibilità di accesso della luce zenitale in configurazioni multipiano.

Trends in vertical farm designs. Towards a biodynamic approach?

Abstract. This paper provides an overview of the state of the art in vertical farming experiments that have explored alternative approaches to the prevailing model, which is currently oriented toward active control of nutrient solutions, microclimatic conditions, and lighting, and is often scarcely aware of urban relations. These experiments propose a natural approach as an alternative to the established model, emphasising the creation of elevated soils, closure of biological cycles, passive climate control, maximisation of natural lighting, and establishing relations with the surrounding context. This approach offers significant functional advantages over the prevailing model, including a reduction in overall environmental impacts and the rate of pathogens affecting plants.

Keywords: Vertical farm; Solar greenhouse; Passive solar gain; Crop-growing; Urban agriculture.

Introduction

The concept of vertical farming emerged on the architectural debate scene in the early 2000s (Despommier, 2011) within the same cultural context that gave rise to concepts such as interstitial urban farming (Hallet *et al*., 2016; Vatistas *et al*., 2022), green roof cultivation (Walters and Stoelzle Midden, 2018), green façades (Manso and Castro-Gomez, 2015), and urban reforestation (Teo *et al*., 2021), as a response to climate change, particularly in urban systems (Fig. 1). This paper investigates the state of the art in vertical farm experiments, and identifies alternative approaches to the prevailing ones (Association for Vertical Farming, 2023; Teo *et al*., 2024). It is orientated towards environmental sustainability.

Vertical farms expand the concept of agricultural greenhouses by hybridising it with the model of botanical greenhouse developed in height (Fig. 2), and developing it within a high-density urban vision. However, unlike solar agricultural greenhouses and, even more so, actively climate-controlled agricultural greenhouses – which, for socio-economic and cultural reasons, make up the majority of greenhouse agricultural infrastructure in the Western world, aligning with broader architectural trends (Banham, 1969) – vertical farms generate overall impacts that, according to many researchers, are environmentally burdensome. This overly modest sustainability and the high economic cost are likely the reasons why vertical farms are still not widespread today. The country with the highest number of operating units is the United States (followed by Singapore), which counts about a hundred. The number of ver-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16595

01 | Parte del masterplan sostenibile proposto dallo studio EXCEPT per la città di Singapore, basato sulla costruzione di vertical farm e canali d'acqua per il raffrescamento ambientale che li congiungono (immagine: EXCEPT 2020, Licenza Creative Commons). Queste vertical farm possono essere viste come una versione avvenieristica, ma ortodossa, del modello proposto da Despommier

Part of the sustainable masterplan proposed by the EXCEPT studio for the city of Singapore, based on the construction of vertical farms and water channels for environmental cooling that connect them (image: EXCEPT 2020, Creative Commons License). These vertical farms can be seen as a futuristic yet orthodox version of the model proposed by Despommier

| 01

02 | Serra art-deco "Jewel Box", da 15 metri di altezza, realizzata a a St Louis, Missoury nel 1936 su progetto di William C.E. Becker (Photo: joetta@sbcglobal.net, 2008; Licenza Creative Commons)

The art-deco greenhouse "Jewel Box", standing 15 metres tall, built in St. Louis, Missouri, in 1936, designed by William C.E. Becker (Photo: joetta@sbcglobal.net, 2008; Creative Commons License)

| 02

Si tratta di problemi per risolvere i quali la produzione di impatti elevati non è inevitabile, ma che senz'altro si verificano attraverso le modalità di risposta correnti. Il modello vigente infatti:

1. affronta il problema del carico del terreno in elevazione attraverso la coltivazione idroponica e aeroponica, che richiede il pompaggio costante dell'intero spettro delle sostanze nutrienti necessarie alle piante per tutto il loro ciclo di vita (Gallo and Casazza, 2016);
2. risponde alle esigenze di controllo climatico attraverso strategie di controllo attivo basate sull'impiego di impianti meccanici (Zhang *et al.*, 2022);
3. affronta il problema della scarsità di illuminazione naturale con strategie di illuminazione artificiale a LED (Wong *et al.* 2020) (Fig. 3).

L'impatto di questa impostazione solleva interrogativi sulla giustificazione dell'investimento non solo in termini di materiali ed energia (Al-Chalabi, 2019), ma anche riguardo al fatto che il risparmio di suolo ottenuto non sia complessivamente effettivo, se si considera la sua impronta ecologica complessiva (Bomford, 2023).

Recentemente, però, sono emerse iniziative imprenditoriali che hanno iniziato a discostarsi dalla formula "idroponica + attiva + LED", intervenendo su ciascuna delle tre direzioni menzionate. In primo luogo, applicando la coltivazione in suolo alle *vertical farm* (Ellis, 2022). In secondo luogo, aumentando la quota delle strategie di controllo climatico passivo a discapito di quello attivo, sulla scorta di studi che dimostrano che strategie di controllo climatico passive sono applicabili con vantaggio nelle *vertical farm* (Ahamed *et al.*, 2023). In terzo luogo, dimostrando con applicazioni pratiche la fattibiità e profittabilità di un approccio basato sull'illuminazione naturale (Agritech Future, 2021).

Esistono forti analogie tra quest'ultima direzione di innovazione e gli sviluppi avvenuti negli ultimi 50 anni nel campo delle

tical farms built is, therefore, still too low to have a substantial impact on the environmental effects of agricultural production and urban consumption; however, it could increase if the intense interest currently being observed continues.

The unsustainability of the "consolidated" vertical farm model seems to stem from the combination of three specific types of functional problems associated with high-rise cultivation:

1. structural problems, arising from the fact that the significant loads due to the use of soil at height require substantial resource investments, comparable to those typically reserved for spaces hosting people;
2. problems in controlling hygrothermal conditions, due to the high density of urban environments, which makes it challenging to achieve optimal solar exposure and ventilation conditions, essential for passive bioclimatic environmental control;
3. problems with natural lighting, resulting from the combination of the high density of urban settlements and the impossibility of accessing zenithal light in multi-story configurations.

These problems, while challenging, do not inevitably lead to high impacts; however, they do occur under current approaches. Indeed, the prevailing model:

1. addresses the issue of soil load at elevation through hydroponic and aeroponic cultivation, which requires constant pumping of the full spectrum of nutrients necessary for plant life cycles;
2. meets the climate control through active control strategies that rely on mechanical systems (Zhang *et al.*, 2022; Avgoustaki and Xydis, 2020);
3. tackles the scarcity of natural lighting with artificial LED lighting strategies (Wong *et al.*, 2020; Tomar, 2024) (Fig. 3).

This approach raises questions about the justification for the investment, not only in terms of materials and energy (Beacham *et al.*, 2015; Al-Chalabi, 2019; Phillips, 2024) but also regarding whether the soil savings achieved are genuinely effective when considering the overall ecological footprint (Bomford, 2023; De Decker, 2021).

Recently, however, entrepreneurial initiatives have begun to move away from the "hydroponic+active+LED" formula, addressing each of the three aforementioned directions, firstly, by applying soil cultivation in vertical farms (Ellis, 2022). Secondly, by increasing the share of passive climate control strategies at the expense of active ones, on the basis of studies that demonstrate the applicability and advantages of passive climate control strategies (Ahamed *et al.*, 2023). Thirdly, by practically demonstrating the feasibility and profitability of an approach based on natural lighting (Agritech Future, 2021).

There are strong analogies between this latest direction of innovation and developments over the last 50 years in the field of bioclimatic greenhouses. The described direction of experimentation on vertical farms shows significant points of convergence with experiments on self-balanced greenhouse ecosystems conducted in the 1970s, such as the Solar Arks by the New Alchemy Institute (Todd and Todd, 1984), inspired by the principles of Permaculture, which demonstrated the feasibility of closing natural cycles (Prance, 2002). This convergence be-

03 | Approccio "ortodosso" all'interno della vertical farm *ifarm.fi*, Finlandia, basato sull'abbinamento di coltivazione idroponica, climatizzazione attiva, e illuminazione a LED (foto: ifarm.fi 2020, licenza Creative Commons)

"Orthodox" approach within the vertical farm ifarm.fi in Finland, based on the combination of hydroponic cultivation, active climate control, and LED lighting (photo: ifarm.fi 2020, Creative Commons License)

serre bioclimatiche al suolo. La direzione di sperimentazione sulle *vertical farm* descritta presenta significativi punti di convergenza con le sperimentazioni sugli ecosistemi autoequilibrati in serra effettuate negli anni '70, tra cui le Solar Arks del New Alchemy Institute (Todd and Todd, 1984), ispirate ai principi della Permacultura, con cui si è dimostrata la fattibilità della chiusura dei cicli naturali (Prance, 2002). Questa convergenza tra *vertical farm* e bioshelters è auspicabile non solo per la riduzione dell'energia necessaria alla climatizzazione, ma anche in considerazione della massimizzazione della riduzione dell'uso di acqua, nutrienti e pesticidi che le serre bioclimatiche consentono, sia rispetto alle coltivazioni all'aperto, sia rispetto alle coltivazioni in serra convenzionali.

L'obiettivo della coltivazione in altezza di suolo pensile

Esperienze recenti che mostrano la competitività e la redditività della coltivazione nel suolo nelle *vertical farm* evidenziano vantaggi significativi in termini di riduzione del tasso di agenti patogeni e di mantenimento degli equilibri ecosistemici naturali della popolazione microbiotica. Questi equilibri risultano fondamentali sia per la salute delle piante, sia per la fissazione del carbonio nel suolo e la sua sottrazione dall'atmosfera, generando effetti benefici per la mitigazione dei cambiamenti climatici (Ellis, 2022).

Il vantaggio chiave dell'uso del suolo sta nella preservazione dell'equilibrio dell'ambiente naturale microbiotico del medium di crescita, che si traduce in una maggiore resistenza delle piante ai parassiti e agli altri agenti patogeni, oltre che in un ridotto uso di energia di mantenimento, consentito dalla minore necessità di pompaggio dell'acqua di irrigazione e dall'eliminazione del pompaggio delle sostanze nutrienti, che sarebbero normalmente prodotte a spese degli ecosistemi dai quali vengono prelevate.

La composizione del suolo è profondamente legata alla vita microbiotica che esso ospita, ma dipende a sua volta dagli strati profondi, che non possono essere presenti in una coltivazione verticale (Gross and Harrison, 2019). Questo fa sì che l'implementazione di coltivazioni su riporti in serra verticale richieda un aggiornamento dei saperi consolidati basati sulla disponibilità di strati profondi, in serra e non. Si tratta di un indirizzo strategico che non può avvenire per mera traslazione né delle pratiche proprie delle *vertical farm*, né di quelle proprie delle serre solari, ma richiede una sintesi tecnica calibrata sulle necessità, mai finora sperimentate, di un'architettura solare in altezza caratterizzata da riporti di suolo pensile indoor. Questo richiede, tra le varie cose, la selezione di tipologie di coltivazioni appropriate e il controllo della microflora e microfauna di un medium sottoposto a condizioni ancora poco sperimentate (Song *et al.*, 2024).

L'obiettivo del controllo climatico passivo

Le strategie di climatizzazione attive oggi predominanti nelle *vertical farm* sono impostate su tecniche che non sono esclusive di queste strutture, ma che lì assumono una sintesi caratteristica. Allo stesso modo, è verosimile pensare che le strategie necessarie per la climatizzazione passiva delle *vertical farm* possano non essere esclusive di tali strutture, ma che per risultare efficaci richiedano il raggiungimento di equilibri specifici. L'introduzione dell'approccio passi-

tween vertical farms and bioshelters is desirable not only to reduce the energy required for climate control, but also to maximise the reduction of water, nutrient, and pesticide use that bioclimatic greenhouses enable – both compared to outdoor cultivation and relative to conventional greenhouse farming.

The objective of high-rise soil-based cultivation

Recent experiences demonstrating the competitiveness and profitability of soil cultivation in vertical farms highlight significant advantages in terms of pathogen rates reduction and maintenance of the natural ecosystem balance of the microbiotic population. These balances are essential for both plant health and soil carbon sequestration, which helps remove carbon from the atmosphere (Ellis, 2022), generating beneficial effects for mitigating climate change (Boekhout, 2023).

The key advantage of using soil lies in preserving the balance of the natural microbiotic environment of the growth medium. This translates into increased plant resistance to pests and, more generally, pathogens, as well as reduced maintenance energy use, due to the lower need for pumping irrigation water and elimination of pumping nutrients, which would be otherwise typically produced at the expense of the ecosystems from which they are extracted.

The composition of the soil is deeply linked to the microbiotic life it hosts, but it also depends on the deeper soil layers, which cannot be present in a vertical cultivation system (Gross and Harrison, 2019). This means that implementing tiered cultivation in vertical greenhouses requires an update

| 03

04 | Vista della serra solare verticale "Vertical Harvest" a Jackson, Wyoming, ey/e Design (riprodottta con il permesso di Vertical Farms, 2024)
View of the vertical solar greenhouse "Vertical Harvest" in Jackson, Wyoming, designed by ey/e Design (reproduced with permission from Vertical Farms, 2024)

vo nelle *vertical farm* è incoraggiata da studi recenti che dimostrano come il loro attuale alto impatto ambientale sia fortemente legato al consumo energetico per il controllo del clima (Zhang *et al*., 2022), e che le strategie di controllo climatico passivo potrebbero ridurlo significativamente (Ahamed *et al*., 2023).
Attualmente, la strategia di controllo climatico delle *vertical farm* dà risposta al consistente fabbisogno di energia principalmente attraverso la produzione da fonti rinnovabili, piuttosto che riducendo i fabbisogni stessi; cosa che ha portato a ipotizzare l'utilizzo delle *vertical farm* per la produzione energetica a beneficio dei tessuti costruiti circostanti (Blom *et al*., 2024). Ma questa impostazione non risolve il problema del consumo energetico: lo sposta semplicemente più a monte, nei processi di produzione industriale degli impianti, che incorporano quantità significative di energia, proporzionali alla loro potenza (Martin *et al*., 2023).
Ne deriva che le sfide nella direzione del controllo climatico passivo delle *vertical farm* sono numerose. Tra queste:

1. il posizionamento di masse di inerzia termica in altezza in misura sufficiente alle strategie passive dà luogo a problemi di natura strutturale e meccanica. Questo suggerisce la possibilità di non basare tutta l'inerzia termica sull'uso di terreno pensile, ma di limitare l'uso del terreno a quanto necessario alla salute delle piante;
2. la necessità di assicurare un adeguato guadagno solare anche in presenza di alte densità insediative richiede un compromesso tra l'esigenza di esposizione solare, tipica delle serre solari (Brunetti, 2022) e la necessità di evitare di ombreggiare le proprietà vicine, mantenendo il volume costruito all'interno dell'inviluppo solare (Knowles, 1981);
3. la necessità di rivedere i criteri preliminari per la progettazione della ventilazione naturale in funzione delle maggiori altezze implicate non può che passare per un aumento del ruolo dello *stack effect*, ma deve anche contrastare la consistente tendenza alla stratificazione termica a cui esso può dare luogo, attraverso un rimescolamento costante dell'aria in altezza, ottenibile in modo passivo sfruttando la differente temperatura di chiusure orientate diversamente, o in modo semiattivo tramite ventole.

Non vi è nulla che impedisca di approfondire i tre obiettivi separatamente, anche separatamente dalla sopraelevazione del suolo coltivato. È quanto avviene, ad esempio, nella sperimentazione di coltivazione verticale solare (nel caso specifico, idroponica) operata dall'azienda americana Novagric, incentrata sul posizionamento "solare" delle scaffalature coltivate. Ma un approccio complessivo alla climatizzazione naturale non può – più che mai in questo caso – che avvenire nel contesto di una profonda ridiscussione della forma stessa della *vertical farm*, lungo una direttrice di reinvenzione tipologica che è, ad oggi, solo parzialmente tracciata. La sperimentazione più rispondente ai principi dell'esposizione solare nello scenario odierno è probabilmente la *vertical farm* di "Vertical Harvest" a Jackson, Wyoming, USA (Cox and Horton, 2018) (Fig. 4).

L'obiettivo dell'illuminazione naturale

Il perseguiemnto dell'illuminazione naturale implica non solo l'accettazione dell'impossibilità di sovvertire le stagionalità attraverso l'input di energia luminosa addizionale durante le stagioni con minore luminosità naturale o nei giorni di cielo coperto (Agritech Future, 2021), ma

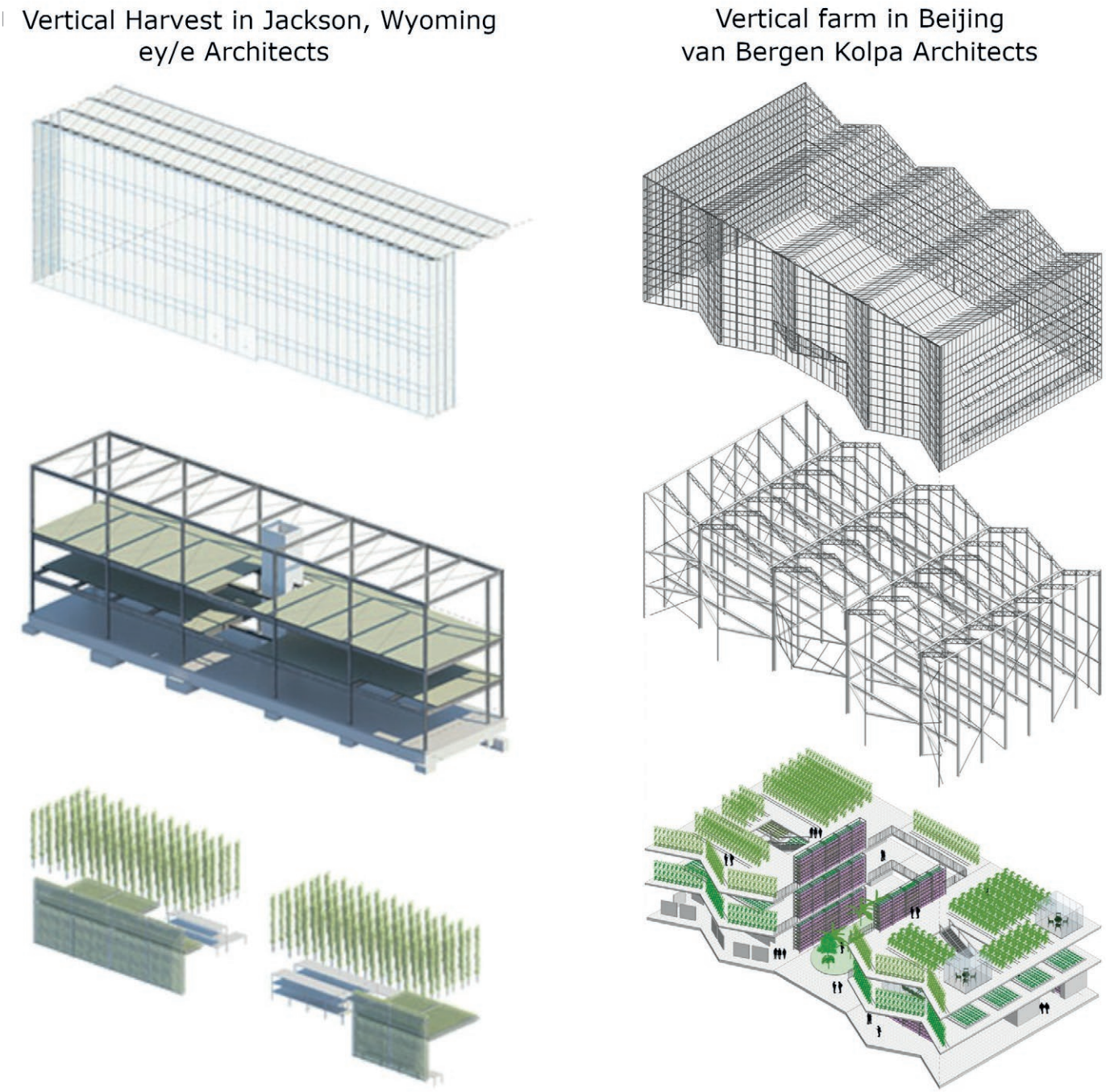
use vertical farms for energy production to benefit the surrounding built environment (Blom *et al*., 2024). However, this approach does not resolve the issue of energy consumption. It simply shifts it further upstream, into the industrial production processes of the systems, which incorporate significant amounts of energy, in proportion to their capacity (Martin *et al*., 2023).
As a result, the specific challenges in the direction of passive climate control in vertical farms are numerous. Among these:

1. positioning thermal mass at sufficient height for passive climate control strategies poses structural and mechanical challenges. This suggests the possibility of not relying entirely on elevated soil for thermal inertia, but limiting soil use to what is necessary for plant health, while achieving the additional required thermal inertia through the use of phase change materials (Zhang *et al*., 2019);
2. ensuring adequate solar gain even in high-density urban settings requires a compromise between the need for solar exposure, typical of solar greenhouses (Brunetti, 2022), and the need to avoid shading adjacent properties by keeping the built volume within the solar envelope (Knowles, 1981);
3. the need to revise preliminary criteria for the design of natural ventilation in relation to the greater heights involved requires increasing the role of the stack effect, while also countering the significant tendency towards the thermal stratification it can cause through constant air mixing at height. This can be achieved passively by exploiting the different temperatures of differently oriented

| 04

05 | Comparazione dello schema delle chiusure trasparenti, delle strutture e della distribuzione delle coltivazioni nella vertical farm "Vertical Harvest" a Jaksons, St Louis, Wyoming, progettata da ey/e Architects, e della vertical Farm a Pechino progettata da van Bergen Kolpa Architects

Comparison of the design of transparent enclosures, structures, and crop distribution in the "Vertical Harvest" vertical farm in Jackson, St. Louis, Wyoming, designed by ey/e Architects, and the vertical farm in Beijing designed by van Bergen Kolpa Architects



enclosures, or semi-actively by using fans.

There is nothing to prevent these three objectives from being explored separately, and also separately from the elevation of cultivated soil. This is the case, for example, of the experimentation with solar vertical cultivation (in this specific case, hydroponic) carried out by the American company Novagric, which involves the "solar" positioning of cultivated shelves. However, a comprehensive approach to natural climate control cannot – more than ever in this case – occur outside the context of a deep reconsideration of the very form of the vertical farm, along a path of typological reinvention that is, to date, only partially mapped out. The experiment most aligned with the principles of solar exposure in the current scenario is likely the "Vertical Harvest" vertical farm in Jackson, Wyoming, USA (Cox and Horton, 2018; Vertical Harvest Jackson) (Fig. 4).

The objective of natural lighting

This implies not only accepting the impossibility of counteracting seasonality through additional light energy input during seasons with reduced natural

anche la rinuncia a superare la disponibilità di ore di luce naturale presente, come invece è possibile con l'illuminazione artificiale (Tomar, 2024). Ma ciò non esclude che molto possa essere fatto per aumentare la disponibilità di luce naturale.
In particolare, è prevedibile che, in futuro questa necessità possa intensificare il ricorso a tecniche di riflessione solare, sia speculare che diffusa (Choubchilangroudi e Zarei, 2021; Papakonstantinou *et al*., 2021), alla sperimentazione di soluzioni innovative come i rivestimenti fluorescenti (Yalçın e Ertürk, 2020), e all'adozione di strategie ibride, attive o passive di tipo adattivo (Dinneen, 2023).

Conclusioni

Molte delle soluzioni necessarie per ripensare le *vertical farm* in chiave bioclimatica richiedono il recupero di approcci non *mainstream*, quali la capacità di ragionare in termini di rigenerazione naturale dei suoli e di chiusura dei cicli naturali, la capacità di applicare strategie bioclimatiche sofisticate in modo quantitativamente accurato, non raggiungibile attraverso modelli semplificati, e la capacità di perseguire l'illuminazione naturale tramite l'utilizzo di riflettori solari impostabili su scale di regolazione coesistenti – stagionale, giornaliera e in tempo reale. Ma anche, e non da ultimo, la volontà di non rinunciare a ricercare, nelle situazioni urbane, una composizione dell'irrisolto conflitto tra le necessità di orientamento e morfologiche dell'architettura solare passiva e quelle di salvaguardia della dimensione umana nella costruzione dell'isolato e della città.
Questo stato di cose suggerisce che l'interpretazione della *vertical farm* come interfaccia tra livelli tecnici differenziati e codici semantici inesplorati possa richiedere, da una parte, la combinazione di approcci digitali (come il controllo automatico e l'applicazione di *digital twin*) e conoscenze solide e antiche come le pratiche di coltivazione biodinamica, fondate sull'assecondamento delle risposte delle specifiche specie vegetali; e dall'altra, l'invenzione di nuove relazioni di paesaggio all'interno dei sistemi urbani e l'accettazione dell'ineluttabilità di rapporti sempre più bionici, sempre più intrecciati, tra la natura, l'uomo e i suoi artefatti.
Sperimentazioni non strettamente classificabili come *vertical farm*, ma prossime ad esse, quali la conversione a serra di edifici multipiano non finiti (Morabito, 2021) e la sopraelevazione a serra "verde" sono di per sé tecnologicamente "neutre", poiché interpretabili in modi molteplici, non necessariamente improntati a approcci solari passivi. Ma ad esse iniziano ad affiancarsi altri segnali di apertura di nuovi percorsi (Negrello, 2024). Uno dei principali tra questi è partito dalla Cina (la nazione dotata della maggiore estensione di serre solari agricole), dove lo Studio Van Bergen Kolpa, avente sede nei Paesi Bassi (il paese che vanta la più importante tradizione di serre agricole in Europa) ha recentemente completato la realizzazione di una serra multipiano climatizzata in modo parzialmente passivo (Astbury, 2024), intermedia tra il concetto "ortodosso" di *vertical farm* "a torre" e quello affacciato verso il sole tipico dell'architettura solare, ottenuta operando movimentazioni morfologiche dettate non solo da considerazioni funzionali, ma anche espressive, mirate alla definizione di nuovi rapporti l'infrastruttura produttiva e il paesaggio. Si tratta di una linea di ricerca improntata alla sintesi, che certamente va nella direzione di una mediazione tra le necessità di efficiente caratterizzazione di forma ed esposizione, ma anche in di una maggiore naturalità complessiva. La

light or on overcast days (Agritech Future, 2021), but also relinquishing the ability to exceed the available hours of natural light, as can be done with artificial lighting (Tomar, 2024). However, this does not mean that much cannot be done to increase the availability of natural light.
In particular, it is foreseeable that, in the future, this need may intensify the use of solar reflection techniques, both specular and diffuse (Choubchilangroudi and Zarei, 2021; Papakonstantinou *et al*., 2021), the experimentation of innovative solutions such as fluorescent coatings (Yalçın and Ertürk, 2020), and the adoption of adaptive hybrid strategies, both active and passive (Dinneen, 2023).

Conclusions

Many of the solutions necessary to rethink vertical farms from a bioclimatic perspective require the revival of non-mainstream approaches. These comprise the ability to think in terms of natural soil regeneration and the closure of natural cycles, the ability to apply sophisticated bioclimatic strategies in a quantitatively precise manner – not achievable through simplified models – and the ability to pursue natural lighting through the use of solar reflectors adjustable on coexisting scales – seasonal, daily, and real-time. But also, and not least, the desire not to give up seeking, in urban contexts, a solution to the never-ending conflict between the orientation and morphological requirements of passive solar architecture, and the need to safeguard the human dimension in the construction of blocks and cities.
This situation suggests that interpreting the vertical farm as an interface between differentiated technical levels and unexplored semantic codes may require the combination of digital approaches (such as automated control and the application of digital twins) and well established, ancient knowledge. Such know-how covers biodynamic farming practices that adapt to the responses of specific plant species, besides the invention of new landscape relationships within urban systems and acceptance of the inevitability of increasingly bionic intertwined relationships between nature, humans, and their artifacts.
Experiments not strictly classifiable as vertical farms, but closely related to them, such as the conversion of unfinished multi-story buildings into greenhouses (Morabito, 2021) and the addition of "green" roof-greenhouse extensions are themselves technologically "neutral", as they can be interpreted in multiple ways, not necessarily based on passive solar approaches. But these are now being joined by other signs of new pathways. One of the main developments has originated in China (the nation with the largest area of agricultural solar greenhouses), where the Studio Van Bergen Kolpa, based in The Netherlands (the country with the most significant tradition of agricultural greenhouses in Europe) has recently completed a partially passively climatised multi-story greenhouse (Astbury, 2024). This project lies somewhere between the "orthodox" concept of a "tower" vertical farm and the sun-facing designs typical of passive solar architecture, achieved through morphological adaptations dictated not only by functional considerations, but also expressive ones, aimed at defining new relationships between productive infrastructure and the landscape.

conseguenza più interessante di tali sperimentazioni potrebbe esseere quella di uno traslazione del concetto di *vertical farm* da un impostazione *high-tech* a una *low-tech*, che, gettando le basi per una maggiore accessibilità e democratizzazione dell'approccio tecnologico in questione, potrebbe rimuovere le barriere che ne hanno – è evidente – finora ostacolato la diffusione.

REFERENCES

Agritech Future (2021), "UK's Largest Vertical Farm that Uses Only Sunlight Begins First Harvest", *Agritech Future*, October 29. Available at: https://www.agritechfuture.com/vertical-farming/uks-largest-vertical-farm-that-uses-only-sunlight-begins-first-harvest (Accessed on 04/02/2025).

Ahamed, M.S., Sultan, M., Monfet, D., Zahid, A., Bilal, M., Ahsan, T.M.A., Achour, Y. (2023), "A critical review on efficient thermal environment controls in indoor vertical farming", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 425, 138923. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138923.

Al-Chalabi, M. (2015), "Vertical farming: Skyscraper sustainability?", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 18, pp. 74-77. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003.

Astbury, J. (2024), "Van Bergen Kolpa Architecten designs Vertical Farm Beijing as a "beacon in the city", *Dezeen*, 18 May. Available at: https://www.dezeen.com/2024/05/18/van-bergen-kolpa-architecten-vertical-farm-beijing-urban-horticulture (Accessed on 04/02/2025).

Blom, T., Jenkins, A., van den Dobbelsteen, A.A.J.F. (2024), "Synergetic urbanism: a theoretical exploration of a vertical farm as local heat source and flexible electricity user", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 103: 105267. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105267.

Bomford, M. (2023), "More bytes per acre: do vertical farming's land sparing promises stand on solid ground?", *Agriculture and Human Values*, Vol. 40, pp. 879–895. Available at: https://doi.org/10.1007/s10460-023-10472-0.

Brunetti, G.L. (2022), *Design and Construction of Bioclimatic Wooden Greenhouses – vol. 1 – Preliminary Design*, ISTE and Wiley, Paris and New York.

Choubchilangroudi, A., Zarei, A. (2022), "Investigation the effectiveness of light reflectors in transmitting sunlight into the vertical farm depth to reduce electricity consumption", *Cleaner Engineering and Technology*, Vol. 7: 100421. Available at: https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100421.

Cox, J.C., Horton, M.J. (2018), "Vertical Harvest of Jackson, Wyoming", *B>Quest*. Available at: https://www.westga.edu/~bquest/2018/verticalharvest2018.pdf (Accessed on 04/02/2025).

Despommier, D.D. (2011), *The vertical farm : feeding the world in the 21st century*, St. Martin's Press, New York.

Dinneen, J. (2023), "Vertical farm cuts energy use 75 per cent by using sunlight", *New Scientist*, May 3. Available at: https://future-of-farming.colab.newscientist.com/article/vertical-farm-cuts-energy-use-75-per-cent-by-using-sunlight (Accessed on 04/02/2025).

Ellis, J. (2022), "Meet the founder: Future Crops CEO Gary Grinspan makes the case for soil-based vertical ag", *AFN* – agfundernews.com, April 25. Available at: https://agfundernews.com/future-crops-gary-grinspan-makes-case-soil-based-vertical-ag-meet-the-founder (Accessed on 04/02/2025).

Gross, C.D., Harrison, R.B. (2019), "The Case for Digging Deeper: Soil Organic Carbon Storage, Dynamics, and Controls in Our Changing World", *Soil Systems*, Vol. 3(2): 28. Available at: https://doi.org/10.3390/soilsystems3020028.

Hallett, S., Hoagland, L., Toner, E. (2016), "Urban Agriculture: Environmental, Economic, and Social Perspectives", *Horticultural Reviews*, Vol. 44, pp. 65–120. Available at: https://doi.org/10.1002/9781119281269.ch2.

Islam, R., Asiabanpour, B. (2023),. "Smart Passive Ambient Control For Indoor Vertical Farming by Simulation", *2023 Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing* (CSCE), pp. 916-921. Available at: https://www.american-cse.org/csce2023-ieee/pdfs/CSCE2023-5LlpKs7cpb4k2UysbLCuOx/275900a916/275900a916.pdf (Accessed on 04/02/2025)

This is a line of research aimed at synthesis, certainly moving toward reconciling the need for efficient solar-oriented form and exposure, while also fostering greater overall naturalness. The most interesting consequence of these experiments could be the shift of the vertical farm concept from a high-tech to a low-tech model, laying the groundwork for greater accessibility and democratisation of the technological approach in question. This could remove the barriers that have so far – quite evidently – hindered its widespread adoption.

Kalantari, F., Tahir, O.M., Akbari, J.R., Fatemi, E. (2018), "Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: a review", *Journal of Landscape Ecology*, Vol. 11: 1, pp. 35-60. Available at: https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016.

Knowles, R.L. (1981), *Sun Rhythm Form*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Manso, M., Castro-Gomes, J. (2015), "Green wall systems: A review of their characteristics", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, pp. 863-871. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203.

Martin, M., Elnour, M., Siñol, A.C. (2023), "Environmental life cycle assessment of a large-scale commercial vertical farm", *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 40, pp. 182-193. Available at: https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.06.020.

Morabito, V. (2021), "Ecologia, paesaggio e agricoltura urbana. Un involucro innovativo per serre verticali", TECHNE, Vol. 22, pp. 149-158. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-10588.

Negrello, M. (2024), "Agricoltura urbana indoor: dalla sperimentazione progettuale innovativa alla norma", *TECHNE*, Vol. 27, pp. 81-88. Available at: https://dx.doi.org/10.36253/techne-15136.

Papakonstantinou, I., Portnoi, M., Debije, M.G. (2021), "The Hidden Potential of Luminescent Solar Concentrators", *Advanced Energy Materials*, Vol. 11: 2002883. Available at: https://doi.org/10.1002/aenm.202002883.

Prance, G.T. (2022), "A Paradise for economic botanists. The Eden project", *Economic Botanist*, Vol. 56, pp. 226–230. Available at: https://www.jstor.org/stable/4256575

Soli Organic Inc. (2024), "Fresh from Texas: Inside San Antonio's first soil-based vertical farm, Soli Organic cultivates 140,000 square feet of organic produce and economic opportunity", *PR Newswire*, Jun 05. Available at: https://www.soliorganic.com/2024/06/fresh-from-texas-inside-san-antonios-first-soil-based-vertical-farm-soli-organic-cultivates-140000-square-feet-of-organic-produce-and-economic-opportunity (Accessed on 04/02/2025).

Song, S., Ong, E.J.K., Lee, A.M.J., Chew, F.T. (2024), "How crop breeding programs can improve plant factories' business and environmental sustainability Insights from a farm level analysis", *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 44: pp. 298–311. Available at: https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.12.020.

Southey, F. (2021), "First soil-based vertical farm developed for greater crop stability and resistance", *Foodnavigator*, Dec 09. Available at: https://www.foodnavigator.com/Article/2021/12/09/Future-Crops-develops-first-soil-based-indoor-vertical-farm-developed-for-greater-crop-stability-and-resistance (Accessed on 04/02/2025).

Teo, H.C., Zeng, Y., Sarira, T.V., Fung, T.K., Zheng, Q., Song, X.P., Chong, K.Y., Koh, L.P. (2021), "Global urban reforestation can be an important natural climate solution", *Environmental Research Letters*, Vol. 16: 034059. Available at: https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe783.

Teo, Z.W.N., Yu, H. (2024), "Genetic breeding for indoor vertical farming", *Sustainable Agriculture*, Vol. 2: 13. Available at: https://doi.org/10.1038/s44264-024-00021-5.

Tomar, A. (2024), "Enhancing crop productivity in photovoltaic greenhouses using extended PAR-based photosynthesis", *Solar Energy*, Vol. 276: 112689. Available at: https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112689.

Walters, S.A., Stoelzle Midden, K. (2018), "Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs", *Agriculture*, Vol. 8: 168. Available at: https://doi.org/10.3390/agriculture8110168.

Zhang, Y., Marcelis, L.F.M. (2021), "Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems", *Nature Food*, Vol. 2, pp. 944–956. Available at: https://doi.org/10.1038/s43016-021-00402-w.

Materiali biogenici per la decarbonizzazione dell'ambiente costruito

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Francesca Thiébat, https://orcid.org/0000-0003-4478-6693 francesca.thiebat@polito.it
Fiamma Morselli, https://orcid.org/0009-0002-3533-699X fiamma.morselli@polito.it
Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

Abstract. Il contributo richiama la necessità di riflettere sul valore ambientale, culturale e sociale dei materiali da costruzione di origine biogenica e sul ruolo che rivestono all'interno della roadmap verso la neutralità climatica. Partendo da una mappatura di casi studio europei, il saggio si interroga sulla diffusione di tali materiali, chiedendosi se il loro uso sia limitato a casi sperimentali o se possa essere alla base di una strategia di decarbonizzazione. Dall'analisi emerge l'urgenza di adottare strategie che attivino la diffusione e la scalabilità d'uso dei materiali biogenici per rispondere alle normative energetico-ambientali e per contribuire in modo efficace ed economicamente sostenibile alla domanda di materiali net-positive, alternativi a quelli d'uso ordinario.

Parole chiave: Materiali biogenici; *Whole life carbon*; Neutralità climatica; Prefabbricazione; Architettura sostenibile.

Verso la decarbonizzazione dell'ambiente costruito

L'Unione Europea, in linea con gli impegni assunti nell'Accordo di Parigi, si è posta l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 attraverso la transizione verso un'economia a zero emissioni nette di gas serra. A tal fine, ha elaborato una "Visione strategica a lungo termine" e ha promosso una serie di iniziative strategiche nell'ambito del Green Deal.
Per allinearsi a questi obiettivi, diversi Stati membri hanno sviluppato roadmap e target specifici per la decarbonizzazione del proprio patrimonio edilizio. *Italy for Climate* ha pubblicato nel 2023 la "Roadmap per la neutralità climatica dell'Italia", delineando un percorso di decarbonizzazione per i settori industriale, edilizio, dei trasporti e agricolo. In sinergia con tale iniziativa, il Green Building Council ha pubblicato la "Roadmap Italiana per la decarbonizzazione degli edifici al 2050"[1], proponendo un approccio sistemico con 53 obiettivi distribuiti in tre aree prioritarie: decarbonizzazione degli edifici, circolarità nel settore delle costruzioni e qualità e resilienza delle città.
L'obiettivo finale è quello di raggiungere il target degli edifici "Net-Zero Whole Life Carbon" entro il 2050 (IEA EBC). Questo approccio non si limita alle emissioni legate alla fase d'uso di un edificio (*Operational Carbon* OC), ossia quelle dovute al fabbisogno energetico per climatizzazione, illuminazione e produzione di acqua calda sanitaria. La *Whole Life Carbon* considera anche le emissioni di CO_2 equivalente[2] generate dai materiali durante le fasi di produzione, costruzione, utilizzo e dismissione dell'edificio (*Embodied Carbon* EC). Inoltre, per conseguire edifici a zero emissioni nette di carbonio (*net-zero* o *carbon neutral*[3]), tiene conto dei benefici e degli impatti che potrebbero emergere al di là del ciclo di vita dell'edificio, così come della quota per la compensazione delle emissioni complessive. Sebbene l'OC possa essere mitigato lungo tutto il ciclo di vita, l'EC è tipicamente caratterizzato da un picco iniziale, noto come "carbon spike" (Ruta *et al*., 2024), difficile da ridurre nelle fasi successive. Diventa quindi cruciale ottimizzare la scelta dei materiali, le tecniche costruttive e la gestione del fine vita degli edifici.
Per avviare una transizione ad ampia scala e una conseguente riduzione significativa delle emissioni di carbonio secondo quanto indicato dall'IPCC, sembra quindi più appropriata una visione per la decarbonizzazione dell'ambiente costruito che riconosca il valore temporale delle emissioni di carbonio emesse nell'intero ciclo di vita dell'edificio, che includa strategie di compensazione nel bilancio complessivo, come suggerisce il World Green Building Council (WGBC), e che promuova

Biogenic materials for the decarbonisation of the built environment

Abstract. This contribution highlights the need to reflect on the environmental, cultural, and social value of biogenic construction materials and their role in the roadmap towards climate neutrality. Based on a mapping of European case studies, the essay investigates the diffusion of biogenic materials in architecture, questioning whether their use is limited to experimental cases or if it can be at the base of a decarbonisation strategy. The analysis conducted reveals the urgency of adopting technologies and practices that promote the diffusion and scalability of biogenic materials to respond to energy and environmental regulations, as well as to contribute effectively and sustainably to the demand for net-positive materials, as alternatives to conventional ones.

Keywords: Biogenic materials; Whole life carbon; Climate neutrality; Prefabrication; Sustainable architecture.

Towards decarbonisation of the built environment

The European Union, in line with the commitments undertaken in the Paris Agreement, has committed to achieving climate neutrality by 2050 through the transition to a net-zero greenhouse gas emissions economy. To this end, it has devised a "Long-term strategic vision" and promoted a series of strategic initiatives under the Green Deal.
To align with these objectives, several Member States have developed specific roadmaps and targets for decarbonisation of their building stock. Italy for Climate published in 2023 the "Roadmap for Climate Neutrality in Italy", outlining pathways for decarbonising the industrial, building, transport, and agricultural sectors. In line with this initiative, the Green Building Council has published the "Italian Roadmap for the Decarbonisation of Buildings by 2050[1]", proposing a systemic approach with 53 objectives distributed into three priority areas, namely decarbonisation of buildings, circularity in the construction sector, and quality and resilience of cities.
The final goal is to achieve the "Net-Zero Whole Life Carbon" building target by 2050 (IEA EBC). This approach goes beyond the emissions associated with the use phase of a building (Operational Carbon, OC), i.e., those related to energy needs for heating, cooling, lighting, and domestic hot water production. Whole Life Carbon also considers the equivalent CO_2 emissions[2] generated by materials during the building's production, construction, use, and end-of-life phases (Embodied Carbon – EC). Furthermore, achieving net-zero carbon buildings (Net Zero or Carbon Neutral[3]) requires accounting for the benefits

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16598

la rigenerazione dell'ambiente e la biodiversità (Ichioka and Pawlyn, 2021).
Tra le azioni prioritarie proposte dalla Global Alliance for Building and Construction, principale riferimento europeo per lo sviluppo delle metodologie di riferimento insieme al WGBC, è infatti quella di promuovere l'uso di materiali *low carbon* per ridurre l'EC sull'intero ciclo di vita (Andreotti e Giordano, 2024).
Tra i materiali *low carbon*, il saggio si focalizza su quelli di origine biogenica.
Il termine "biogenico" si riferisce a materia derivata da biomassa (European Committee for standardisation, 2014) vergine o riciclata, come ad esempio legno, canapa, paglia, micelio, lana di pecora, conchiglie, alghe e altri materiali che provengono da altri organismi viventi[4]. Il prodotto biogenico si definisce invece come "interamente o parzialmente derivato da biomassa". I materiali biogenici si possono distinguere in materiali derivati da risorse a crescita lenta, come il legno, o a crescita rapida, i "fast-growing materials" (Pomponi *et al*., 2020; Pittau, 2018; Göswein *et al*., 2022), come la paglia e la canapa. Questi ultimi possono favorire la decarbonizzazione in modo più efficiente grazie ai brevi periodi di rotazione delle colture (Göswein *et al*., 2022).
In architettura, l'utilizzo di prodotti a base biogenica per interventi di recupero, ampliamento o nuova costruzione spesso riguarda elementi di involucro e partizioni interne (ad es. isolanti in fibre vegetali o rivestimenti in legno) e talvolta elementi strutturali (ad es. sistemi portanti in legno o in balle di paglia). Oltre a essere rinnovabili in natura, essi svolgono un ruolo cruciale nella cattura dell'anidride carbonica atmosferica durante il loro processo di crescita, in quanto la CO_2 sequestrata viene immagazzinata come CO_2 biogenica all'interno degli edifici (Pittau *et al*., 2018) creando così un costruito *carbon sink*[5] (Pomponi *et al*., 2020; Churkina *et al*., 2020). Le emissioni associate a questi materiali possono quindi essere compensate dalla piantumazione e ricrescita di biomasse da utilizzare come nuova materia prima che, assorbendo annualmente CO_2 dall'atmosfera, contribuiscono al sequestro complessivo del carbonio (Göswein *et al*., 2022).
Tra le altre caratteristiche dei prodotti da costruzione biogenici vi sono la non tossicità, la traspirabilità, la biodegradabilità, buone proprietà termiche (Galimshina *et al*., 2024), la possibilità di integrazione nei sistemi passivi (Ruta *et al*., 2024), la capacità di attivare processi di recupero e riuso di scarti dal settore agro-alimentare (Galimshina *et al*., 2024) e, infine, la capacità di incentivare la rigenerazione sociale ed economica di comunità locali (Brunner, 2011; Ruta, 2024; Ichioka and Pawlyn, 2021).
Tuttavia, sebbene tali materiali offrano vantaggi significativi per la riduzione della *EC*, permangono alcuni limiti riguardo all'aspetto estetico, alla durabilità, alla resistenza al fuoco (Jones and Brischke, 2017; Ruta *et al*., 2024), alla resistenza all'acqua, all'attacco di parassiti e alla disponibilità delle risorse (Göswein *et al*., 2021; Pomponi *et al*., 2020).

Materiali biogenici: una strada possibile

In fase di progettazione, la scelta di materiali e componenti è fortemente legata a valutazioni estetiche, tecnologiche, storico-culturali, funzionali ed etiche. Allo stesso modo è necessario tenere conto di vincoli normativi e tecnici, inclusa la reperibilità stessa delle materie prime.
Come sostengono diversi autori, la sostituzione di prodotti ad elevato impatto ambientale con prodotti a basso impatto, a base

and environmental impacts that may emerge beyond the building's life cycle and the quota for compensating for total emissions. Although emissions associated with OC can be mitigated throughout the life cycle, EC is typically characterised by an initial peak, known as a "carbon spike" (Ruta *et al*., 2024), which is inherently difficult to reduce in subsequent phases. Hence, it becomes crucial to optimise the choice of materials, construction techniques, and the end-of-life management of buildings.
To initiate a large-scale transition and a consequent significant reduction in carbon emissions, as indicated by the IPCC, a vision for decarbonisation of the built environment that recognises the time value of carbon emissions emitted throughout the whole life cycle of the building seems more appropriate. It should include compensation strategies in the overall balance (World Green Building Council), while promoting environmental regeneration and biodiversity protection (Ichioka and Pawlyn, 2021).
The Global Alliance for Building and Construction, a prominent European body for developing benchmarking methodologies alongside the WGBC, has prioritised the promotion of low carbon materials to mitigate embodied carbon (EC) throughout the entire building life cycle (Andreotti and Giordano, 2024). This essay will concentrate on biogenic materials within the spectrum of low carbon options. The term "biogenic" denotes matter derived from biomass (European Committee for Standardization, 2014), either virgin or recycled, encompassing materials such as wood, hemp, straw, mycelium, sheep's wool, shells, algae, and other substances originating from living organisms[4]. A "biogenic product" is, instead, defined as one that is either wholly or partially derived from biomass. Biogenic materials can be categorised as those sourced from slow growing resources, such as wood, and "fast-growing materials" (Pomponi *et al*., 2020; Pittau, 2018; Göswein *et al*., 2022), such as straw and hemp. Given their shorter crop rotation periods, fast growing materials have greater potential to contribute to decarbonisation more effectively (Göswein *et al*., 2022).
In the architectural context, the application of biogenic-based products for renovation, extension, or new construction frequently includes elements of the building envelope and internal partitions (e.g., plant-fibre insulation or timber cladding) and, in some cases, structural components (e.g., timber or straw bale structural systems). Beyond their intrinsic renewability, biogenic materials play a crucial role in sequestering atmospheric carbon dioxide during their growth phase, as the captured CO_2 is stored as biogenic CO_2 within the built environment (Pittau *et al*., 2018), thus transforming the built environment into a carbon sink[5] (Pomponi *et al*., 2020; Churkina *et al*., 2020). The emissions associated with these materials can be mitigated through the cultivation and regeneration of biomass as a new raw material, which, by annually absorbing CO_2 from the atmosphere, contributes to the overall carbon sequestration process (Göswein *et al*., 2022).
Further characteristics of biogenic building products include non-toxicity, breathability, biodegradability, good thermal properties (Galimshina *et al*., 2024), the potential for integration into passive systems (Ruta *et al*.,

biogenica, non sempre soddisfa i vincoli di progetto e le prestazioni richieste. Si pensi ad esempio alle fondazioni che devono resistere a forti sollecitazioni e garantire la tenuta all'acqua. Oppure alla scarsa disponibilità di alcuni materiali ritenuti a basso impatto ambientale in aree geografiche specifiche il cui impatto aumenta a causa dei trasporti e la cui sostenibilità si abbassa se si supera la capacità di rigenerazione nel tempo (Göswein *et al*., 2021, 2022; Pomponi *et al*., 2020). È il caso del legno usato in località in cui non crescono foreste o con un tasso di utilizzo che eccede il tasso di crescita (Pomponi *et al*., 2020).

Carcassi *et al.* (2022) paragona la piramide alimentare con la "dieta dei materiali da costruzione". Sostiene che per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica occorra prima di tutto ridurre al minimo, quando non sia possibile la sostituzione, l'utilizzo di materiali con un alto tasso di *Embodied Energy*, definiti *high-carbon*, quali ad esempio acciaio, materiali polimerici e vetro; secondariamente favorire l'utilizzo di materiali caratterizzati da basse emissioni di CO_2, definiti *low-carbon*; e infine preferire il più possibile materiali da costruzione *climate-negative* per la capacità di assorbire e immagazzinare la CO_2. Inoltre, come per la dieta alimentare, suggerisce di diversificare i prodotti e ragionare sull'efficienza in base al tipo di progetto e alla localizzazione.

I materiali biogenici costituiscono quindi una possibile alternativa per favorire la transizione ecologica dell'ambiente costruito soprattutto se adottati su ampia scala. Come approfondito da Ruta *et al.* (2024), l'adozione in fase di progetto della "dieta dei materiali da costruzione" può consentire una riduzione del 50% delle emissioni lungo l'intero ciclo di vita rispetto a un edificio convenzionale. Inoltre, prendendo in considerazione l'utilizzo di materiali biogenici, in particolare a crescita rapida, e il relativo contributo della CO_2 biogenica sequestrata, la riduzione di emissioni nel ciclo di vita può raggiungere il 70% (Ruta *et al*., 2024).

Sulla base di queste premesse, il saggio esplora alcuni casi studio di architetture contemporanee realizzate con materiali biogenici. I casi studio sono stati selezionati all'interno del contesto geografico europeo nell'arco temporale degli ultimi vent'anni. Tale scelta è legata alla volontà delle autrici di indagare opere recenti e di analizzare la messa in opera di prodotti, componenti o materiali biogenici in Europa.

Le tabelle 1, 2 e 3 riportano una mappatura[6] di ventisette progetti suddivisi per tipo di materiale biogenico impiegato in forma innovativa o, in alcuni casi, predominante. Per ogni architettura i dati riportati mettono in evidenza il sito di progetto, l'anno di costruzione, gli elementi tecnici realizzati con materiale biogenico, il sistema costruttivo, la destinazione d'uso, se è un progetto di recupero/ampliamento o una nuova costruzione, se è pubblico o privato e infine se l'uso del materiale biogenico è sperimentale o meno. I limiti principali della selezione dei casi studio riguardano la reperibilità delle informazioni e dei dettagli tecnici (disegni o immagini di cantiere). Inoltre, per i materiali con un'ampia disponibilità di esempi, come nel caso del legno, è stato necessario selezionarne solo alcuni privilegiando quelli particolarmente significativi o pionieristici.

I casi studio sono stati esaminati al fine di identificare potenzialità e limiti nell'uso di materiali biogenici da replicare su larga scala per contribuire al raggiungimento della neutralità climatica.

Dall'analisi è emersa la necessità di evidenziare alcuni temi chiave. Innanzitutto, è possibile usare i materiali biogenici per tutti gli elementi tecnici? Dall'osservazione dei casi studio si

2024), the capacity to facilitate recovery and reuse processes for agrifood waste (Galimshina *et al*., 2024) and, finally, their ability to support the social and economic regeneration of local communities (Brunner, 2011; Ruta, 2024; Ichioka and Pawlyn, 2021). Despite the significant advantages of bio-based building materials in reducing EC, challenges remain regarding aesthetics, durability, fire resistance (Jones and Brischke, 2017; Ruta *et al*., 2024), water resistance, susceptibility to insect and pest infestation, and resource availability (Göswein *et al*., 2021; Pomponi *et al*., 2020).

Biogenic Materials: A possible path

The choice of building materials and components in the design phase is intrinsically linked to many considerations, ranging from aesthetic and technological factors to historical and cultural relevance, functionality, and ethical considerations. Regulatory and technical constraints must also be taken into account, particularly those concerning the availability, durability, and sustainability of raw materials. Several authors argue that replacing high impact materials with low impact biogenic alternatives does not always meet project requirements or performance standards. For instance, foundations must withstand heavy loads and ensure watertightness, making substitution more challenging. Furthermore, other considerations should be made for the limited availability of some low impact materials in specific geographic areas, where their impact increases due to transportation, and their sustainability decreases if the regeneration capacity is exceeded over time (Göswein *et al*., 2021, 2022; Pomponi *et al*., 2020). This is the case of wood used in locations where forests do not grow or where the use rate exceeds the growth rate (Pomponi *et al*., 2020).

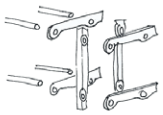
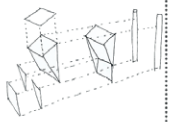
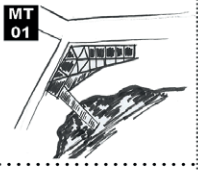
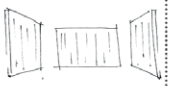
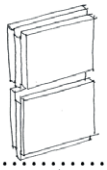
Carcassi *et al.* (2022) draw a comparison between the food pyramid and a "material diet". They argue that to achieve climate neutrality, we must first minimise, where substitution is not possible, the use of materials with a high embodied energy, known as high carbon materials, such as steel, polymers, and glass. Secondly, we must promote the use of materials with low CO_2 emissions, defined as low carbon; and, finally, prioritise the use of climate-negative construction materials whenever feasible, due to their ability to absorb and store CO_2. Moreover, as with a food diet, they suggest diversifying products and consider efficiency based on the type of project and location.

Biogenic materials are, therefore, a fundamental alternative to promote the ecological transition of the built environment. As detailed by Ruta *et al.* (2024), adopting a 'material diet' during the design phase can enable a 50% reduction in emissions over the entire life cycle, when compared to a conventional building. Moreover, the use of biogenic materials, particularly fast-growing ones, alongside their ability to sequester biogenic CO_2, can reduce life cycle emissions by 70% (Ruta *et al*., 2024).

Building on these principles, this paper examines contemporary architectural case studies showcasing the use of biogenic materials. The case studies have been selected within the European geographic context over the last twenty years. This choice is linked to the desire to investigate recently completed projects, and to analyse the

Tab. 01 | Casi studio selezionati per tipo di materiale biogenico. Fonte: autori dell'articolo
Case studies divided by type of biogenic material. Source: article authors

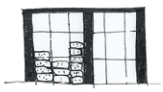
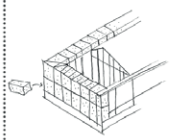
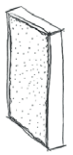
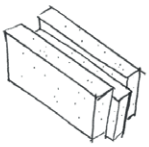
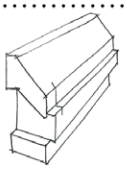
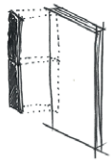
| Tab. 01

Biogenic Material	Project Designers Reference		Location	Year	Biogenic technical elements	Detail	Construction technique	Intended use	Renovation ■ / New construction ◆	Private ■ / Public ◆	Experimental■ / Non experimental ◆
WOOD FRAME	**Tamedia office** WD 01 Shigeru Ban shigerubanarchitects.com		Zurich CH	2013			Prefabricated Glulam timber elements joined together using traditional Japanese carpentry techniques	Office	◆■	■	■
	Endesa Pavillion WD 02 IAAC: Arch. Rodrigo Rubio, Miguel Guerrero IAAC - Institute for Advanced Architecture of Catalonia https://iaac.net/		Barcelona ES	2011			Modular Components wood frame structure	Educational Prototype	◆	◆	■
	Lou Estela WD 03 Arch. Davide Castellino https://www.dariocastellino.it/progetto/abitazione-42-2/		Moiola IT	2021			Prefabricated wood structure - trusses with different sizes to give shape to the ridge line of the roof	Residential	◆■	■	■
MASS TIMBER	**CENF · Formentera Water Sports Center** MT 01 Arch. Marià Castelló Martínez https://m-ar.net/formentera-water-sports-center/		La Savina ES	2019			CLT structure	Sport centre	◆	◆	■
	Mjøstårnet MT 02 Arch. Voll Arkit https://vollark.no/portfolio_page/mjostarnet/		Brumunddal NO	2019			Glulam structure trusses made from light-coloured spruce wood, CLT structure columns.	Mixed use, Offices, hotel, public spaces	◆	◆■	■
	Delhaize Quai de Rome MT 03 MDW Architecture + H+G Architects MDW Architecture mdw-architecture.com		Liège BE	2015			Wood is used throughout the project, from CLT structure to cedar façade cladding	Commercial - Retail Supermarket	◆	■	■
	House Köris MT 04 Arch. Zeller & Moye Lewis, P., Tsurumaki, M., & Lewis, D. J. (2022). Manual of Biogenic House sections. *Oro Editions*.		Gross Köris DE	2020			Prefabricated load baring hollow block and CLT for horizontal structure	Residential	◆	■	■
STRAW	**Casa Steila Mar** SW 01 Atelier Werner Schmidt Atelier Werner Schmidt | Haus P&W, CH-Susch (atelierschmidt.ch)		Susch CH	2014			Straw bale external thermal envelope - insulation	Residential	■	■	◆
	Gartist GmbH House SW 02 Atelier Werner Schmidt Atelier Werner Schmidt | Gartist GmbH, CH-Bubikon (atelierschmidt.ch)		Bubikon CH	2017			Structural jumbo straw bale for both the walls and the roof	Office and showroom	◆	■	■

Icon legend: Structure; Cladding; Insulation; Partition

Tab. 02 | Casi studio selezionati per tipo di materiale biogenico. Fonte: autori dell'articolo
Case studies divided by type of biogenic material. Source: article authors

Tab. 02 |

Biogenic Material	Project Designers Reference		Location	Year	Biogenic technical elements	Detail	Construction technique	Intended use	Renovation ■ / New construction ◆	Private ■ / Public ◆	Experimental■ / Non experimental ◆
STRAW	**Bauge** SW 03 Lequertier and Martin Stern, E., Walther, R., & Rager, M. (2020). Le tour de France des maisons écologiques. *Alternatives*.		Taillebois Orne FR	2018			Self-construction Rammed earth pillars and straw bale infill walls	Residential	◆	■	◆
	Maison Mor SW 04 Atelier Desmichelle Stern, E., Walther, R., & Rager, M. (2020). Le tour de France des maisons écologiques. *Alternatives*.		Saint-Nom-La-Bretêche, Yvelines, FR	2015			Structural straw bale and wood frame	Residential	◆	■	◆
HEMP	**Flat house** HP 01 Practice Architecture Lewis, P., Tsurumaki, M., & Lewis, D. J. (2022). Manual of Biogenic House sections. *Oro Editions*.		Cambridgeshire UK	2019			Modular units built offsite / Prefabricated I-joist wood framed cassets filled with hemp and lime	Residential	◆	■	■
	Polyvalent Studio HP 02 Practice Architecture + Unit 7, London Metropolitan University https://practicearchitecture.co.uk/project/cass-studio/		Pidley UK	2019			Prefabricated modules with wood structure, hempcrete walls, wood fibre insulation, hemp fibre bio-resin cladding (Margent Farm)	Atelier	◆	■	■
	Beton de chanvre HP 03 Daniel Bayol Stern, E., Walther, R., & Rager, M. (2020). Le tour de France des maisons écologiques. *Alternatives*.		Vidauban, Var FR	2015			Wood (douglas fir) structure, insuflated hempcrete insulation, earth bricks wall partitions	Residential	◆	■	■
	Sports hall HP 04 Lemoal Lemoal Architectes Pierre Chevet Sports Hall in Croissy-Beaubourg (theplan.it)		Croissy-Beaubourg FR	2021			Wooden half-vaulted porticoes that lean against a structural wall of hempcrete blocks	Sport centre	◆	◆	■
	The voice of urban nature HP 05 Overtreders W Architectural design Overtreders W I (overtreders-w.nl)		Floriade, Almere NL	2022			Wooden building modules filled with lime hemp and robust constructive columns	Educational Prototype	◆	■	◆
CORK	**Cork house** CK 01 Matthew Barnett Howland, Dido Milne, Oliver Wilton https://www.matthewbarnett-thowland.com/cork-house		Eton UK	2011			Prefabricated modules of structural cork blocks	Residential	◆	■	■
	Two cork houses CK 02 Emiliano López Mónica Rivera Arquitectos Lewis, P., Tsurumaki, M., & Lewis, D. J. (2022). Manual of Biogenic House sections. *Oro Editions*.		Palafrugell ES	2016			Structure in CLT panels with cork insulation external skin	Residential	◆	■	◆

Icon legend: Structure; Cladding; Insulation; Partition

Tab. 03 | Casi studio selezionati per tipo di materiale biogenico. Fonte: autori dell'articolo
Case studies divided by type of biogenic material. Source: article authors

| Tab. 03

Biogenic Material	Project Designers Reference		Location	Year	Biogenic technical elements	Detail	Construction technique	Intended use	Renovation ■ / New construction ◆	Private ■ / Public ◆	Experimental■ / Non experimental ◆
CORK	**Casa Quattro** LCA Architetti LCA Architetti (Luca Compri Architetti - Varese) - BENVENUTI (lcarchitetti.com)	CK 03	Magnago, Milan IT	2016			Wood structure, rice straw infill walls, cork external insulating panels	Residential	◆	■	◆
	The day After House Takk the day after house - takk's archive (cargo.site)	CK 04	Madrid ES	2021			Wood structure and cork panels for insulation and interior clad	Residential	■	■	■
MYCELIM	**Growing pavillion** New Heroes Company https://thegrowingpavilion.com	MM 01	Eindhoven NL	2019			Wood structure, mycelium cladding external panels, Bio-textile cotton roof, reed floor	Educational Prototype	◆	◆	■
	MY-CO Space MY-CO X Collective https://www.tu.berlin/en/ub/about-us/contact/public-relations/my-co-space/	MM 02	Berlin DE	2021			Wood structure, mycelium cladding external panels	Educational Prototype	◆	◆	■
HUSK	**GAIA, Rice house** Rice house Gaia (ricehouse.it)	HK 01	Massa IT	2018			3D printed walls of earth, straw and ground sand, with rice husk infill	Residential	◆	■	■
REED	**Roseaux** Atelier CAZ'éco Stern, E., Walther, R., & Rager, M. (2020). Le tour de France des maisons écologiques. *Alternatives.*	RD 01	Savenay, Loire-Atlantique FR	2018			Prefabricated modus with wood frame and reed fibre insulation, reed thatching external cladding	Residential	◆	■	◆■
	Dune House Archispektras Lewis, P., Tsurumaki, M., & Lewis, D. J. (2022). Manual of Biogenic House sections. *Oro Editions.*	RD 02	Pape LV	2016			Modular component wood frame structure	Residential	◆	■	◆
	SkinOver Reed IBBTE University of Stuttgart IBBTE Universität Stuttgart (uni-stuttgart.de)	RD 03	Brand Bei Bludenz AT	2019			Wood structure (portals) and external insulating and cladding thatched reed	Accomodation	◆	■	■
SEAWEED	**Seaweed House** Vandkunsten Architects Lewis, P., Tsurumaki, M., & Lewis, D. J. (2022). Manual of Biogenic House sections. *Oro Editions.*	SD 01	Laesø Island DK	2013			Concrete pier foundations, wood structure, seagrass external cladding and insulation	Residential	◆	■	■

Icon legend Structure · Cladding · Insulation · Partition

nota chiaramente che solo alcuni materiali possono essere utilizzati per la struttura portante, in particolare legno e paglia, e, se si esclude il legno, spesso manca la normativa di riferimento e sta al singolo progettista riuscire a certificare il progetto. Tuttavia, due casi studio mostrano la possibilità di utilizzare per le strutture portanti anche materiali alternativi come il sughero (CK01) o la calce-canapa (HP04).

Un secondo tema riguarda il processo costruttivo. Nonostante l'uso di materiali biogenici sia spesso associato a tecniche di auto-costruzione, soprattutto al di fuori dell'Europa, molti progetti prevedono la realizzazione di alcune parti del manufatto in officina, sia interi componenti prefabbricati (WD02), sia elementi tecnici realizzati *ad hoc* da assemblare in cantiere (WD01).

Occorre poi mettere in evidenza che la maggior parte dei progetti analizzati sono edifici in prevalenza privati con destinazione d'uso residenziale (15 su 27). Ciò può essere dovuto a diversi fattori, tra cui il fatto che i prodotti a base biogenica spesso sono poco presenti in ambito normativo, sono ancora sperimentali o presentano una limitata diffusione sul mercato e per questo vengono impiegati per edifici di dimensioni ridotte, ad uno o due piani fuori terra, talvolta di proprietà dei progettisti stessi.

La mappatura in alcuni casi mostra una discrepanza tra la localizzazione geografica del cantiere e la provenienza delle materie prime, come nel caso del sughero impiegato in edifici nel nord Europa (CK01). In altri casi invece, l'uso di prodotti biogenici già presenti sul mercato locale, innesca processi di crescita delle filiere esistenti attraverso il trasferimento tecnologico tra settori economici diversi (ad es. agricolo / edilizio) e strategie di riuso secondo i principi dell'economia circolare. Un esempio è la paglia impiegata in alcuni casi studio in Francia (SW01, SW02) e in Svizzera (SW03, SW04), materiale già ampiamente presente sul mercato agricolo e zootecnico.

Si può notare inoltre un aumento negli ultimi anni nell'uso di materiali biogenici. Meno del 20% dei progetti analizzati è stato costruito tra il 2000 e il 2015, mentre più del 50% è stato realizzato negli ultimi sei anni. Tale incremento può essere considerato un risultato positivo attribuibile alle strategie per la decarbonizzazione messe in atto nell'ultima decade a livello internazionale e in particolare dall'UE anche attraverso iniziative con ricadute dirette sui cittadini come il New European Bauhaus.

È infine importante evidenziare il carattere sperimentale nell'uso dei materiali biogenici in quasi il 75% dei progetti analizzati. Tema che emerge anche dalla mancanza quasi totale di informazioni sui costi di fornitura e posa. In particolare, alcuni progetti riguardano edifici dimostratori su cui vengono testati i materiali, come nel caso dei padiglioni in micelio (MM01, MM02); altri invece riprendono usi tradizionali in chiave contemporanea con sistemi ingegnerizzati e certificabili, come la fibra di canna palustre utilizzata in pannelli (RD01); mentre altri ancora sperimentano nuove forme o tecniche di lavorazione, come ad esempio blocchi assemblabili (MT04) o biocompositi nella manifattura additiva (HK01).

Mentre la valutazione della fattibilità tecnica e della scalabilità è fondamentale per ogni sistema innovativo, per i materiali biogenici è importante assicurare la replicabilità delle soluzioni progettuali e costruttive, al fine di evitarne l'isolamento a singoli casi studio. Nel caso di materiali biogenici, replicabilità vuol dire anche reperibilità della materia prima. Per quanto sia auspicabile un aumento della domanda e dell'offerta di nuove filiere di prodotti biogenici non si può prescindere dal considerare, da

implementation of biogenic products, components, or materials in Europe.

Tables 1, 2, and 3 present a mapping[6] of twenty-seven case studies categorised by the type of biogenic material used in an innovative or, in some cases, predominant way. For each architecture, the data presented highlight the project site, construction year, biogenic elements used, construction system description, intended use, whether it is a renovation/extension project or new construction, whether it is public or private and, finally, whether the use of the biogenic material is experimental or non-experimental. The main limitations of the case study selection concern the availability of information and technical details (drawings or construction site images). Furthermore, it was necessary to select only a few case studies for materials with a wide availability of examples, such as wood, prioritising those that were particularly significant or pioneering.

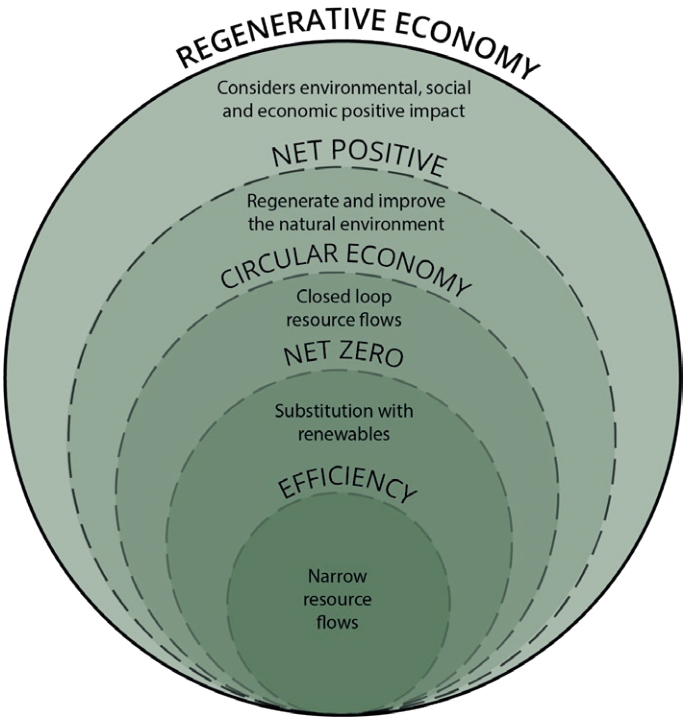
The case studies were examined to identify the potential and limitations of using biogenic materials at a wide scale to contribute to achieving climate neutrality. The analysis highlighted the need to emphasise some key issues. Firstly, can biogenic materials be used for all technical elements of a building? Case studies reveal that only certain materials, particularly wood and straw, can be used for load-bearing structures. Moreover, when wood is excluded, there is often a lack of regulations, and it is up to the individual designer to certify the project. However, two case studies show the possibility of using alternative materials for structural elements, such as cork (CK01) or lime-hemp load-bearing bricks (HP04).

A second theme relates to the construction process. Although the use of biogenic materials is often associated with self-build techniques, especially outside Europe, many projects involve the off-site production of certain building components, either as fully prefabricated modules (WD02) or as custom-made technical systems to be assembled on site (WD01). It should also be noted that most of the projects analysed are predominantly private buildings for residential use (15 out of 27). This may be due to several factors, including the fact that biogenic products are often inadequately represented in regulations, are still experimental or have limited presence on the market, and are, therefore, used for small buildings, one or two stories above ground, sometimes owned by the designers themselves. In some cases, the mapping reveals a discrepancy between the geographic location of the construction site and the origin of raw materials, as in the case of cork used in buildings in northern Europe (CK01). In other instances, however, the utilisation of biogenic products already available in the local market initiates processes that reinforce existing supply chains by facilitating the transfer of technology across various economic sectors (e.g. agriculture and construction), and promoting reuse strategies aligned with circular economy principles. For example, straw, a material readily accessible in agricultural and livestock markets, is employed in case studies from France (SW01, SW02) and Switzerland (SW03, SW04).

A significant increase in the use of biogenic materials can be observed when examining the construction year of the projects. Less than 20% of the analysed projects were constructed between 2000 and 2015, while more than 50% were built in the last six

01 | Da un modello efficiente a uno rigenerativo. Fonte: rielaborazione da "Building to heal: *Building materials as an opportunity for regeneration" lecture del Prof. Dr. Guillaume Habert* e da Ichioka, S. and Pawlyn, M. (2021)

From an efficient to a regenerative model – Source: image re-elaboration from the lecture 'Building to heal: Building materials as an opportunity for regeneration' by Prof. Dr. Guillaume Habert, Ichioka, S. and Pawlyn, M. (2021)



una parte, gli ecosistemi e gli equilibri socio-economici esistenti (Ichioka and Pawlyn, 2021) e, dall'altra, il tasso di utilizzo delle materie prime che non deve superare il tasso di rigenerazione.
Ulteriori indagini sulla diffusione dei materiali biogenici potrebbero essere condotte a partire dalla percezione degli utenti che spesso associano a tali materiali un valore negativo. A volte, infatti, sono percepiti come materiali poveri, poco duraturi e poco conosciuti, nonostante l'architettura spontanea e gli edifici vernacolari costituiscano un 'prototipo storico' ancora molto presente in Europa. Anche il valore economico influisce sulla percezione dei consumatori. In genere, ad un costo della materia prima relativamente basso, corrisponde un prezzo di mercato più alto rispetto a prodotti convenzionali a causa della mancanza di un mercato specifico di prodotti biogenici. Difficilmente poi rientrano in meccanismi di incentivazione, soprattutto per mancanza di *know-how*, basso scale-up industriale, oltre ai motivi di reperibilità già evidenziati.
Come dimostrano alcuni dei casi studio analizzati, la prefabbricazione di prodotti biogenici potrebbe migliorare l'efficienza nella produzione e nei tempi di costruzione, riducendo gli sprechi e ottimizzando l'uso delle risorse. Questo consentirebbe un maggiore controllo della qualità, garantendo omogeneità nelle prestazioni e favorendo la certificazione e la diffusione sul mercato dei prodotti (Sutkowska *et al.*, 2024).

Quali prospettive per un'architettura sostenibile?

L'analisi di casi studio europei ha sottolineato il crescente interesse per l'utilizzo di materiali da costruzione di origine biogenica. Materiali che, oltre a offrire significativi vantaggi ambientali, possono contribuire in modo significativo alla decarbonizzazione dell'ambiente costruito. Una strada possibile, che sta prendendo forma. Talvolta però la loro applicazione è limitata a progetti pilota difficili da scalare e replicare per la mancanza di normative specifiche, la scarsa disponibilità di materiali certificati e la necessità di competenze tecniche.
In tale ottica, la prefabbricazione può essere una strategia per favorire la diffusione di materiali biogenici come prassi piuttosto che come *unicum*?
La prefabbricazione di sistemi che prevedono l'uso di materiali a crescita rapida e circolari rappresenta un'alternativa alla costruzione convenzionale per un ambiente costruito *climate-neutral*. In linea con il concetto di "dieta dei materiali da costruzione",

years. This trend likely reflects the success of decarbonisation strategies implemented at the international level, particularly by the EU in the last decade, and through initiatives directly impacting citizens, such as the New European Bauhaus. Finally, it is important to highlight the experimental nature of the use of biogenic materials in almost 75% of the analysed projects. This theme is further evident in the absence of information regarding supply and installation costs. Specifically, some projects involve educational prototypes used to test materials, as seen in the case of mycelium pavilions (MM01, MM02), while others take up traditional applications updated with engineered and certifiable systems, such as reed fibre used in prefabricated panels (RD01); yet others experiment with new forms or processing techniques, such as blocks that can be assembled (MT04) or biocomposites in additive manufacturing (HK01).
While assessing technical feasibility and scalability is essential for any innovative system, concerning biogenic materials, it is essential to ensure the replicability of design and construction solutions to avoid isolating them as an individual case study. Replicability also means the availability of raw materials. While an increase in the demand and development of new biogenic product supply chains is desirable, it is essential to consider the existing ecosystems and socio-economic realities (Ichioka and Pawlyn, 2021), as well as the utilisation rate of raw materials, which must not exceed the regeneration rate.
The adoption of biogenic materials could be further explored by examining user perceptions, as these materials are often associated with negative connotations. They are often conceived as poor, non-durable, and unfamiliar materials, though spontaneous architecture and vernacular buildings constitute 'historical prototypes', which are still extensively present in Europe. Economic value also influences consumer perception. Generally, a relatively low raw material cost translates to a higher market price in comparison to conventional products due to the lack of a market for biogenic products in the construction industry. Furthermore, they are rarely included in incentives and tax bonus mechanisms, mainly due to a lack of know-how, low industrial scale-up, and the previously mentioned availability issues.
As demonstrated by some of the case studies analysed, the prefabrication of biogenic products could enhance production efficiency and construction time, reduce waste, and optimise resource utilisation. This approach enhances quality control, streamlines certification processes, and accelerates the market integration of biogenic products (Sutkowska *et al.*, 2024).

What are the future outlooks for sustainable architecture?

The analysis of European case studies has emphasised a growing interest in utilising biogenic construction materials. Such materials offer substantial environmental benefits, and can significantly contribute to decarbonisation of the built environment. This is a promising pathway that is becoming more tangible. Nonetheless, their application is often restricted to pilot projects that prove challenging to scale-up and replicate due to the absence of specific regulations, limited availability of certified materials, and the need for technical expertise. With-

diventa urgente sviluppare e divulgare il *know-how* con 'ricette' composte da 'ingredienti' locali intercambiabili, ossia risorse e materie prime disponibili sul territorio. Tale approccio permetterebbe di sviluppare 'sistemi aperti" adattabili e scalabili per promuovere la diversificazione delle risorse e mantenere un legame stretto con i sistemi ecologici locali.

L'obiettivo *carbon neutral* rappresenta un primo passo verso la sostenibilità, ma non è sufficiente.

Per raggiungere risultati più ambiziosi, è necessario progredire verso un modello *net-positive* che vada oltre la semplice riduzione delle emissioni. L'approccio *net-zero* o *carbon neutral* o, come definito da Eisenstein (2016) "CO_2 reductionism"[7], si focalizza sulla riduzione delle emissioni, ma spesso trascura i sistemi sociali, economici ed ecologici più ampi. L'approccio *net-positive*, in aggiunta, mira a creare un valore ecologico e sociale netto positivo, ripristinando e migliorando l'ambiente. Il passo successivo è la transizione verso un'economia rigenerativa, come definita da Jain (2022), costituita da strutture che promuovono la resilienza, la diversità e l'interconnessione dei sistemi.

Questo richiede alle imprese, ai governi e ai politici l'adozione di pratiche che promuovano la rigenerazione e costruzione di una rete di sistemi interconnessi (Fullerton, 2015). In ambito architettonico, la transizione verso un modello rigenerativo implica andare oltre la mera minimizzazione dell'*Operational* e *Embodied Carbon* (Ichioka and Pawlyn, 2021), per promuovere un pensiero co-evolutivo[8] (Wahl, 2016; Mang e Haggard, 2016), immaginando una metamorfosi continua dell'architettura rispetto al proprio contesto ambientale (Angelucci e Di Sivo, 2019) con edifici che contribuiscano positivamente ai sistemi ecologici attraverso l'uso di materiali, processi e sistemi integrati nei cicli naturali, sociali e culturali. Ichioka and Pawlyn (2021) sottolineano come l'approccio rigenerativo nell'architettura debba mirare a una diffusione globale del sapere, incentivando al contempo la produzione locale. Questo concetto riprende i principi dell'Agenda 21, che invitano a "pensare globalmente, agire localmente".

NOTE

[1] https://gbcitalia.org/area-download/roadmap/ (accessed 10 September 2024)

[2] Il CO_2 equivalente è una misura che esprime l'impatto dei gas serra in termini di quantità di anidride carbonica.

[3] foundations-for-net-zero-full-paper.pdf (sciencebasedtargets.org) (accessed 10 September 2024)

[4] Terra, metalli, minerali e altri materiali naturali inerti non sono inclusi nei materiali biogenici poiché non derivano da organismi viventi

[5] In architettura, *carbon sink* si riferisce a un sistema edilizio caratterizzato da materiali in grado di immagazzinare anidride CO_2.

[6] La selezione dei casi studio (da 1 a 5 per ciascun materiale) seppur soggettiva e non esaustiva può costituire un primo tentativo di mappatura dello stato attuale.

[7] https://charleseisenstein.org/essay/grief-and-carbon-reductionism/ (accessed 10 September 2024)

[8] Il pensiero co-evolutivo si riferisce all'evoluzione congiunta delle specie che interagiscono tra loro.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Entrambi gli autori hanno contribuito in modo paritario alla concettualizzazione e alla scrittura di questo articolo.

Questa pubblicazione è realizzata nell'ambito del progetto PNRR-NGEU finanziato dal MUR tramite DM 118/2023.

in this context, could prefabrication be a strategic approach to facilitate the widespread adoption of biogenic materials as standard practice rather than an isolated instance?

The prefabrication of systems that use fast-growing renewable and circular materials presents an alternative paradigm to conventional construction within a climate-neutral built environment. Aligned with the concept of a 'material diet', there is a pressing need to develop and disseminate knowledge-based 'recipes' composed of interchangeable local resources and raw materials. Such an approach would facilitate the development of 'open systems' that are both adaptable and scalable, thereby promoting resource diversification and fostering a close connection with local ecological systems.

The carbon neutral or net-zero objective is an initial step towards sustainability but is insufficient to achieve more ambitious goals. Progression towards a 'net-positive' model, which extends beyond a mere reduction of emissions, is necessary. The carbon-neutral approach, or as Eisenstein (2016) terms it, "CO_2 reductionism[7]", is primarily concerned with mitigating emissions, yet it frequently overlooks the broader socio-economic and ecological systems. The net-positive approach also seeks to establish net-positive ecological and social value by restoring the environment. The next phase involves transitioning to a regenerative economy, as Jain (2022) defines, characterised by structures that foster resilience, diversity, and interconnectedness of all systems.

This requires businesses, governments, and policymakers to adopt practices that foster regeneration and the configuration of a network of interconnected systems (Fullerton, 2015). Within the architectural context, the transition towards a regenerative model entails transcending mere minimisation of operational and embodied carbon (Ichioka and Pawlyn, 2021) to promote co-evolutionary thinking[8] (Wahl, 2016; Mang and Haggard, 2016), envisioning a continuous metamorphosis of architecture in relation to its environmental context (Angelucci and Di Sivo, 2019). Buildings will be designed to contribute positively to ecological systems through the utilisation of materials, processes, and systems integrated into natural, social, and cultural cycles. Ichioka and Pawlyn (2011) underline that the regenerative approach in architecture should aspire to global dissemination of knowledge, concurrently incentivising local production. This concept resonates with the principles of Agenda 21, which advocate for 'thinking globally and acting locally'.

NOTES

[1] https://gbcitalia.org/area-download/roadmap/ (accessed 10 September 2024)

[2] Equivalent CO_2 is a measure that expresses the impact of greenhouse gases in terms of the amount of carbon dioxide (CO_2) that would have the same global warming potential over a given period of time. Hence, it allows the comparison of emissions of different greenhouse gases by converting their emissions into an equivalent amount of CO_2.

[3] Foundations-for-net-zero-full-paper.pdf (sciencebasedtargets.org) (accessed 10 September 2024)

[4] Earth, metals, minerals, and other inert natural materials are excluded from

REFERENCES

Andreotti, J. and Giordano, R. (2024) *Strumenti per la decarbonizzazione: Valutazione della Whole Life Carbon (WLC) e della Circular Economy (EC) di un manufatto edilizio*. GBC Italia. Available at: https://gbcitalia.org/wp-content/uploads/2024/11/Strumenti-per-la-decarbonizzazione_Valutazione-della-Whole-Life-Carbon-WLC-e-della-Circular-Economy-CE-di-un-manufatto-edilizio.pdf.

Angelucci, F. and Di Sivo, M. (2019) "Designing for co-evolution", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, pp. 120–127. Available at: https://doi.org/10.13128/TECHNE-7518.

Brunner, P.H. (2011) "Urban mining: A contribution to reindustrializing the city", *Journal of Industrial Ecology*, 15, pp. 339–341. Available at: https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00345.x.

Carcassi, O.B., Habert, G., Malighetti, L.E. and Pittau, F. (2022) "Material diets for climate-neutral construction", *Environmental Science & Technology*, 56(8), pp. 5213–5223. Available at: https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05895.

Carcassi, O.B., Paoletti, I. and Malighetti, L.E. (2021) "Reasoned catalogue of biogenic products in Europe: An anticipatory vision between technical potentials and availability", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, pp. 63–70. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-10578.

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K., Graedel, T.E. and Schellnhuber, H.J. (2020) "Buildings as a global carbon sink", *Nature Sustainability*, 3(4), pp. 269–276. Available at: https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4.

Eisenstein, C. (2016) "Grief and carbon reductionism". Essay. Available at: https://charleseisenstein.org/essay/grief-and-carbon-reductionism/.

European Committee for Standardisation (2016) *EN 16575: Bio-based products – Vocabulary*.

Fullerton, J. (2015) *Regenerative capitalism: How universal principles and patterns will shape our new economy*. Capital Institute. Available at: http://capitalinstitute.org/wp-content/uploads/2015/04/2015-Regenerative-Capitalism-4-20-15-final.pdf.

the classification of biogenic materials as they do not originate from living organisms.

[5] In the architectural context, a carbon sink denotes a building system comprising materials capable of absorbing and storing atmospheric carbon dioxide.

[6] The selection of case studies (from 1 to 5 for each material), although subjective and not exhaustive, can constitute a first attempt at mapping the current state.

[7] https://charleseisenstein.org/essay/grief-and-carbon-reductionism/ (accessed 10 September 2024)

[8] Co-evolutionary thinking pertains to the concurrent evolution of interacting species.

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT

Both authors contributed equally to the conceptualisation and writing of this paper.

This publication is part of project PNRR-NGEU, which has received funding from the MUR – DM 118/2023.

Galimshina, A., Moustapha, M., Hollberg, A., Lasvaux, S., Sudret, B. and Habert, G. (2024) "Strategies for robust renovation of residential buildings in Switzerland", *Nature Communications*, 15(1). Available at: https://doi.org/10.1038/s41467-024-46305-9.

Göswein, V., Arehart, J., Phan-huy, C., Pomponi, F. and Habert, G. (2022) "Barriers and opportunities of fast-growing biobased material use in buildings", *Buildings and Cities*, 3(1), pp. 745–755. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.254.

Göswein, V., Reichmann, J., Habert, G. and Pittau, F. (2021) "Land availability in Europe for a radical shift toward bio-based construction", *Sustainable Cities and Society*, 70, 102929. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102929.

Ichioka, S. and Pawlyn, M. (2021) *Flourish: Design paradigms for our planetary emergency*. Triarchy Press.

IEA EBC (n.d.) *Annex 89 – Ways to implement net-zero whole life carbon buildings*.

Jain, Y. (2021) "Regenerative economies: A new approach towards sustainability", in W. Leal Filho, A.M. Azul, L. Brandli, A.L. Salvia, P.G. Özuyar and T. Wall (eds.) *No poverty*. Springer International Publishing, pp. 1–11. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69625-6_80-1.

Jones, D. and Brischke, C. (2017) *Performance of bio-based building materials*. Woodhead Publishing.

Lewis, P., Tsurumaki, M. and Lewis, D.J. (2022) *Manual of biogenic house sections*. Oro Editions – Publishers of Architecture, Art, and Design.

Mang, P. (2016) *Regenerative development and design: A framework for evolving sustainability*.

Pittau, F., Krause, F., Lumia, G. and Habert, G. (2018) "Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls", Building and Environment, 129, pp. 117–129. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.006.

Pomponi, F., Hart, J., Arehart, J.H. and D'Amico, B. (2020) "Buildings as a global carbon sink? A reality check on feasibility limits", One Earth, 3(2), pp. 157–161. Available at: https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.018.

Ruta, M.F., Pittau, F. and Masera, G. (2024) "Towards zero-carbon buildings: Challenges and opportunities from reversing the material pyramid", Sustainability, 16(11), 4454. Available at: https://doi.org/10.3390/su16114454.

Stern, E., Walther, R. and Rager, M. (2020) Le tour de France des maisons écologiques. Alternatives – Grand format – Librairie Gallimard PARIS.

Sutkowska, M., Stefańska, A., Vaverkova, M.D., Dixit, S. and Thakur, A. (2024) "Recent advances in prefabrication techniques for biobased materials towards a low-carbon future: From modules to sustainability", Journal of Building Engineering, 91, art. no. 109558. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109558.

Wahl, D.C. (2016) Designing regenerative cultures. Triarchy Press.

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU | Ministero dell'Università e della Ricerca | Italiadomani

Carbon storage e materiali rinnovabili: i *trade-off* della risorsa legno

Elisa Zatta, https://orcid.org/0000-0001-9255-5238 elisa.zatta@iuav.it
Dipartimento di Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

Abstract. L'origine rinnovabile e il potenziale di stoccaggio del carbonio hanno reso il legno ingegnerizzato un tema cruciale nel dibattito sulla neutralità climatica dell'ambiente costruito, a volte però interpretato in modo impreciso, come dimostra il concetto di "edifici *carbon sink*". Il saggio esplora tre ambiti da cui emergono fraintendimenti: la terminologia relativa a legno e *carbon storage*, l'assunto relativo alla rinnovabilità che non considera la natura finita delle foreste e gli schemi di trasferimento del carbonio, la conflittualità tra mercati basati su una stessa risorsa dalla disponibilità incerta. Identificando *trade-off* esistenti e futuri, il contributo esamina la inscindibile relazione tra neutralità climatica delle aree urbane e gestione del territorio che garantisce loro le risorse.

Parole chiave: *Carbon storage*, Legno ingegnerizzato, Risorse rinnovabili, Sistema città-territorio, Strategie di mitigazione.

Far quadrare i conti

Il ruolo fondamentale che materiali e sistemi costruttivi giocano nel supportare gli obbiettivi di neutralità climatica europea entro il 2050 è ormai riconosciuto (UNEP e GABC, 2024). Se si considera inoltre il previsto incremento di popolazione e aree urbanizzate, i processi e i mezzi adottati per realizzare e ristrutturare edifici avranno un peso sempre più rilevante in ottica di domanda di energia ed emissioni di carbonio. Una maggior efficienza di involucro e impianti consentirà di minimizzare le esternalità della fase operazionale di un edificio, ma, al contempo, le risorse materiali scelte per le costruzioni dovranno garantire quantità limitate di energia e carbonio incorporati nei prodotti. È dunque sempre più necessario considerare tutte le fasi del ciclo di vita edilizio, in ottica *Whole Life Carbon* (Le Den *et al*., 2023), per evitare che singole scelte progettuali ostacolino un bilancio globale virtuoso.

Nel contesto attuale, in cui appare cruciale riportare la decarbonizzazione sulla traiettoria da cui ha deviato in modo quasi irreparabile, l'uso di materiali *bio-based* e rinnovabili in edilizia sta vivendo un forte impulso. Questa tendenza si basa sulla potenziale efficacia delle strategie di sostituzione dei materiali impiegati (Pomponi *et al*., 2020) (UNEP e YEA+C, 2023), che promuovono alternative dagli inferiori impatti incorporati e capaci di ridurre, al contempo, il consumo di risorse non rinnovabili. A questi criteri sono spesso associati l'approvvigionamento locale, volto a ridurre le distanze di trasporto, e l'applicazione in sistemi costruttivi reversibili, in ottica di gestione circolare del fine vita. Nel caso delle componenti strutturali degli edifici, la scelta spesso individuata in sostituzione di calcestruzzo e acciaio è il legno ingegnerizzato: rinnovabile per definizione, caratterizzato da inferiore intensità energetica, adatto alla produzione ottimizzata *off-site*, assemblabile in modo rapido e a secco. Non solo tali caratteristiche giocano in favore della decarbonizzazione dei processi edilizi, ma una specifica peculiarità dei prodotti a base legno sembra garantire la decarbonizzazione di per sé: il *carbon storage*. Proprio su questo concetto si fonda la propensione per il legno strutturale dimostrata da più istituzioni internazionali, tra cui quelle comunitarie. La Strategia Europea per la Bioeconomia auspica la diffusione di elementi in legno in edilizia[1], «dato il loro potenziale nel sequestro di carbonio, nella sostituzione di risorse fossili con altre sostenibili ricavate da biomassa e nell'ampia possibilità di ridurre i gas effetto sera legata a modelli produttivi più efficienti nell'uso di risorse» (EC, 2018). Analogamente, la Nuova Strategia Europea per le Foreste evidenzia che i prodotti a base legno possono «contribuire a trasformare il settore edile da fonte di emissioni di gas a effetto serra in un pozzo di assorbimento del carbonio, come stabilito nella strategia *Renovation Wave* e nell'iniziativa *New European Bauhaus*» (EC, 2021).

Carbon storage and renewable materials: the trade-offs of the timber resource

Abstract. Timber is currently a trending topic in the debate concerning our built environment's carbon neutrality, due to its renewable nature and the potential to store carbon. Nevertheless, this premise is sometimes inaccurately interpreted, as proven by the recently emerging concept of buildings becoming carbon sinks. The paper explores three fields in which misconceptions appear to be grounded, namely the inaccurate use of vocabulary about carbon storage in timber, the renewable-based assumption disregarding carbon transfer patterns and the finite nature of forests, and the competing market sectors relying on a resource with uncertain availability. By identifying existing and future trade-offs, the contribution points out how the carbon neutrality of urban areas cannot disregard the territory they extract resources from.

Keywords: Carbon storage; City-territory system; Engineered wood; Mitigation strategies; Renewable resources.

Balancing the accounts

The significant role of building materials and systems in delivering European carbon neutrality within 2050 is by now acknowledged (UNEP and GABC, 2024). Moreover, considering the expected increase in both population and urban areas, the means and processes that will be adopted to construct and renovate buildings will have an even more relevant impact in terms of energy demand and carbon emissions. Improvements in the envelope and installation efficiency will be crucial to minimise the environmental burden during the operational phase. However, the selected material resources will also have to ensure limited quantities of the energy and carbon embodied in construction products. It is, therefore, increasingly necessary to consider each phase of the lifecycle, following a Whole Life Carbon approach (Le Den *et al*., 2023), to prevent single architectural choices from affecting a global virtuous balance.

In the current context, due the urgency to steer the decarbonisation path towards the planned route it is almost diverging from for good, the use of bio-based and renewable materials in building operations has been gaining momentum. This inclination relies on the potential effectiveness of material substitution strategies (Pomponi *et al*., 2020) (UNEP and YEA+C, 2023), promoting alternative materials with lower embodied impacts compared to the conventional ones, and reducing the consumption of non-renewable resources. Besides these criteria, other parameters are usually considered, such as local production in order to reduce transportation distances, and application in reversible building systems to foster circular

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16411

01| Allegoria del Buon e del Cattivo Governo (1338-1339), Ambrogio Lorenzetti
The Allegory of Good and Bad Government (1338-1339), Ambrogio Lorenzetti

Sebbene derivi da concetti intuitivi, questa propensione va esaminata proprio in virtù dell'apparentemente semplice equazione su cui si basa – più carbonio imprigionato negli edifici, meno carbonio nell'atmosfera – come sembra suggerire l'emergente paradigma «*building as a carbon sink*» (Arehart *et al*., 2021). E se invece, come obiettano Goswein *et al.* (2022), «un edificio costruito di solo legno trasferisse semplicemente carbonio da un bacino (la foresta) a un altro bacino (l'ambiente costruito)»? I materiali rinnovabili sono estratti da una risorsa finita, il capitale naturale, e «se una città consuma così tanto per crescere e svilupparsi, bisogna che da qualche altra parte nel pianeta quelle risorse vengano prodotte» (Mancuso, 2023). Anche per il legno, far quadrare i conti è inevitabile. Il percorso verso la neutralità climatica va dunque considerato nella mutua connessione tra l'ambiente costruito e quello naturale, solo possibile "con-testo" degli insediamenti umani (Fig. 1).
Semplici equazioni possono dare adito a interpretazioni semplificate. È dunque necessario comprendere le implicazioni di un futuro impiego intensivo del legno ingegnerizzato, per individuare approssimazioni ed equivoci di cui la progettazione ambientale in architettura può, e dovrebbe, occuparsi nel promuovere l'uso consapevole di queste risorse per aree urbane a zero emissioni. In tal senso, inquadrare in una cornice istituzionale i processi che caratterizzano il legno e i ruoli per esso prospettati nella decarbonizzazione consente di discutere, con il supporto della letteratura scientifica, gli aspetti più delicati riguardo la sua transizione sostenibile da bene naturale e rinnovabile a prodotto fruito.

Legno e *trade-off* *Carbonio incorporato a termine*

L'entusiasmo che circonda l'idea di un futuro dell'architettura basato sulle costruzioni in legno si scontra, in alcuni casi, con un uso impreciso dei termini (Arehart *et al*., 2021). Il settore delle costruzioni sarà un "pozzo" di carbonio (EC, 2021) o le città "depositi" dislocati dello stesso (Pomponi *et al*., 2020)? Gli elementi in legno "sequestrano" carbonio (EC, 2018) o sono le foreste a "immagazzinarlo" (Ramage *et al*., 2017)? Tali ambiguità semantiche vanno chiarite contestualizzando foreste e legno ingegnerizzato nel ciclo del carbonio (Fig. 2) e considerando le diverse vite utili dei prodotti a base legno.
Nell'arco della loro vita, gli alberi assorbono diossido di carbonio attraverso la fotosintesi. L'attività di rimozione del carbonio dall'atmosfera è definita "assorbimento" (*uptake*) o "cattura" (*capture*) e risulta nel successivo "sequestro" (*sequestration*) biologico dello stesso (IPCC, 2019) con il graduale accumulo di biomassa nella pianta (Ramage *et al*., 2017). Quali «entità o sistemi biogeochimici presenti sul territorio [...] nell'ambito dei quali è immagazzinato [*stored*] carbonio», le foreste rappresentano "bacini" (*pool*) di questo elemento e ne immagazzinano una quantità definita "riserva" (*stock*) (EP, 2018). Un bacino di carbonio opera quale "pozzo" (*sink*) se, con un «processo, attività o meccanismo che assorbe un gas a effetto serra dall'atmosfera», «durante un determinato intervallo di tempo, il carbonio che vi affluisce è più di quello che ne è emesso» (EP, 2018, p.7) (IPCC, 2019). Dopo il taglio degli alberi, il carbonio sequestrato

| 01

nelle piante resta immagazzinato anche nel tondame rimosso (*roundwood*) e continua a esserlo nei prodotti da quest'ultimo derivati. La parte rimanente della foresta vede una riduzione nello *stock* di carbonio, ma, proseguendone assorbimento e sequestro, opera ancora da riserva (immagazzinandolo) e da pozzo (rimuovendone dall'atmosfera più di quanto non ne rilasci). La riduzione della riserva di carbonio[2] corrisponde al trasferimento del medesimo a un altro bacino: quello dei prodotti legnosi (*Harvested Wood Products*, HPWs) (Fig. 3). Ciò significa che il legno da costruzione immagazzina in sé del carbonio, ma, non attuando più assorbimento e sequestro, non può fungere da *carbon sink* – né possono farlo gli edifici con esso costruiti – bensì da *carbon pool*.

Valutare il carbonio biogenico stoccato negli HPWs è fondamentale per definirne il contributo ai processi di *Carbon Capture and Storage* (CCS), ma molto complesso (Ramage *et al*., 2017). Insieme alle difficoltà nell'allocare il carbonio trasferito da bacino all'altro, fattore cruciale è la mancanza di una posizione condivisa sul computo del carbonio biogenico nel modellare il *Life Cycle Assessment* (LCA) di un edificio in relazione ai confini del sistema. Secondo l'approccio "0/0", che considera l'edificio in modo autonomo, la quantità di carbonio rilasciata dai prodotti a fine vita è pari a quella accumulata nella biomassa (Hoxha *et al*., 2020), assunto però distante dalla realtà (Leturcq, 2020). Al contrario, l'approccio "-1/+1" valuta, in modo statico o dinamico, i flussi di input e output di carbonio nell'edificio, considerandone l'apporto negativo dato dall'assorbimento (avvenuto nel "sistema foresta") e quello positivo dettato dal rilascio che avrebbe luogo nello scenario descritto dal modulo D, oltre i confini del sistema (Hoxha *et al*., 2020; Andersen *et al*., 2021). Se la seconda posizione supporta una valutazione più realistica e basata su un numero maggiore di informazioni, l'esito può essere fuorviante ove l'LCA si limiti alle fasi A1-A3 (*cradle to gate*). Inoltre, se la valutazione di benefici e carichi oltre il sistema delinea possibili scenari di riciclo, il potenziale di immagazzinamento di CO_2 nei prodotti da risorsa rinnovabile va comunque commisurato a una 'data di scadenza'. Indipendentemente dalla quantità di carbonio stoccato, prima o poi esso sarà rilasciato nel suolo, nel caso di conferimento in discarica, o nell'atmosfera, nel caso di recupero di energia. La vita utile dei prodotti diviene dunque fattore cruciale: considerando che il mondo delle costruzioni in legno ingegnerizzato è ancora giovane, la durabilità in opera dello stesso va approfondita per valutarne in modo completo i vantaggi.

Approvvigionamento e sequestro: duplice ruolo

Se nel futuro il legno sarà una fornitura materiale essenziale per la filiera delle costruzioni, la sua disponibilità va indagata alla luce dei termini fissati dalle principali politiche europee sulla decarbonizzazione. Ciò richiede di andare oltre la convenzionale definizione di risorsa "rinnovabile", che sottintende mezzi illimitati a disposizione dei progettisti, dato che anche quelle fossili potrebbero essere reputate non finite nell'arco dei milioni di anni in cui possono rigenerarsi. Il 2050 è la scadenza prefissata per la neutralità climatica da Green Deal Europeo e, di conseguenza, Nuovo Bauhaus Europeo – iniziativa che ne traduce gli obbiettivi in azioni tangibili per un ambiente costruito sostenibile e inclusivo[3]. Le foreste sono la risorsa che, da un lato, cattura e sequestra carbonio e, dall'altro, ne consente il trasferimento nel legno ingegnerizzato. Sono sufficientemente

management of products. Hence, focusing on structural elements, timber is considered the most suitable choice for substituting concrete and steel as it is renewable by definition and less energy-intensive, allowing for off-site optimised production, besides enabling fast and reversible assembly. Not only do these properties support the decarbonisation of building processes, but an additional one appears to guarantee decarbonisation in and of itself, designating engineered wood as the future of construction, namely carbon storage. This argument clearly inspires the penchant for timber expressed by international institutions, including the European ones. The EU Bioeconomy Strategy strongly encourages the spread of timber elements in construction[1], «given their potential for carbon sequestration, the substitution of fossil resources with sustainable biomass-based resources, and their large greenhouse gas emissions reduction potential related to more resource efficient and sustainable production patterns» (EC, 2018). Likewise, according to the New EU Forest Strategy, wood-based products «help turn the construction sector from a source of greenhouse gas emissions into a carbon sink, as set out in the Renovation Wave Strategy and the new European Bauhaus initiative» (EC, 2021).

Although based on rather intuitive concepts, this tendency needs to be further examined precisely because of the apparently simple equation it is built upon – the more carbon locked up in buildings, the less there will be in the atmosphere, as the trend «building as a carbon sink» paradigm (Arehart *et al*., 2021) suggests. What if, as Goswein et al. (2022) argue, «a building constructed from timber alone just transfers carbon from one carbon pool (the forest) to another carbon pool (the built environment)»? All renewable materials are extracted from a finite resource, the natural capital, and «if a city depletes so many [resources] to grow and develop, it is necessary for those resources to be produced somewhere else in the planet» (Mancuso, 2023). Even for timber, balance is inevitable. Therefore, the climate neutrality path has to be followed considering the mutual connection between the urban and natural environments, the latter as the only possible "context" of human settlements (Fig. 1).

Simple equations often induce simplified interpretations. Understanding the implications produced by the future extensive use of timber in construction is thus required to identify approximations and misconceptions that environmental design in architecture can, and should, address when promoting the conscious use of engineered wood towards climate-neutral urban areas. Therefore, examining the processes characterising timber and the roles envisaged for it in decarbonisation within an institutional framework allows to discuss, with the support of scientific literature, the critical aspects of its sustainable transition from natural and renewable good to consumed product.

Timber and trade-offs

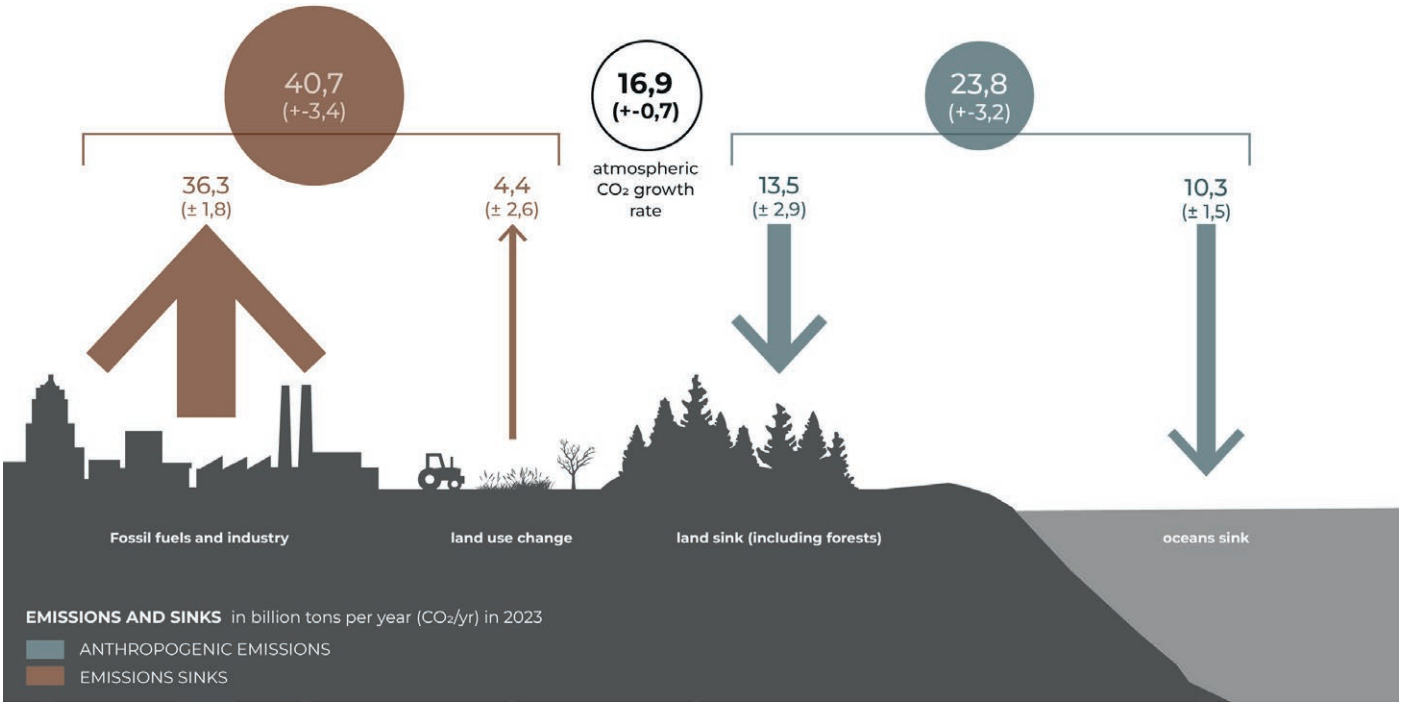
Fixed-term embodied carbon

The enthusiasm underlying an architectural timber-based future sometimes leads to the non-specific use of the related terms (Arehart *et al*., 2021). Will the construction sector be a carbon sink (EC, 2021) or are cities displaced carbon storages (Pomponi *et al*., 2020)? Do timber elements sequestrate

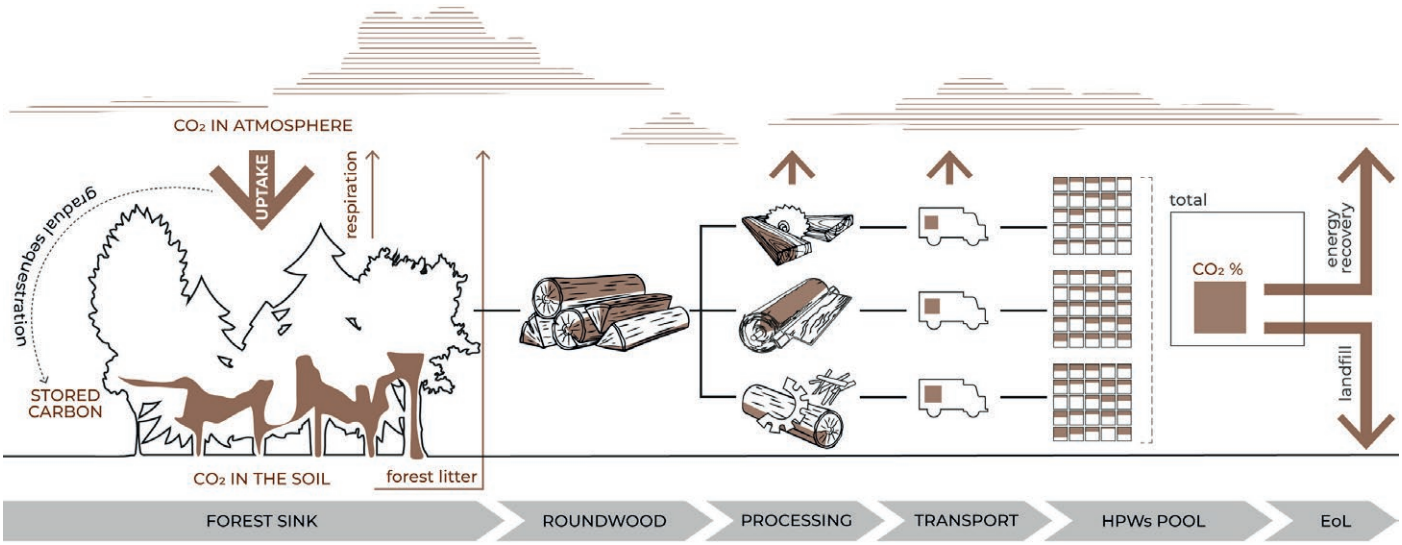
02| Ciclo del carbonio: principali fonti e pozzi a scala globale, adattato da globalcarbonatlas.org
Global carbon cycle: main sources and sinks, adapted from globalcarbonatlas.org

03| Ruolo di foreste e prodotti legnosi nel ciclo del carbonio, Elisa Zatta
The role of forests and HPW products in the carbon cycle, Elisa Zatta

| 02



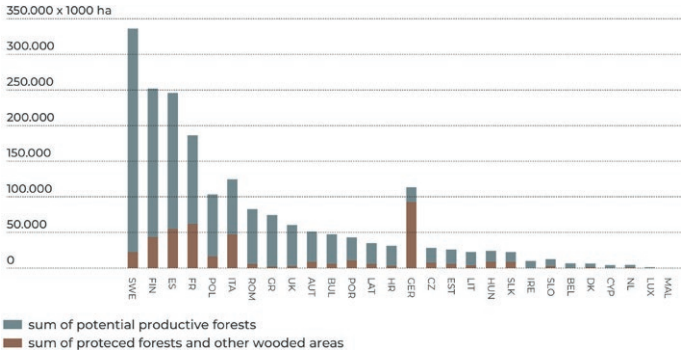
| 03



carbon (EC, 2018) or do forests store it (Ramage *et al.*, 2017)? These semantic ambiguities can be clarified by contextualising forests and timber within the carbon cycle phases (Fig. 2), and by considering the different lifespans of trees and wood-based products.

During their growth cycle, trees absorb carbon dioxide through photosynthesis and by converting it into biomass. The process of carbon removal from the atmosphere is defined as "carbon uptake" or "capture", resulting in subsequent (biologic) "carbon sequestration" (IPCC, 2019), which occurs by gradual accumulation of biomass within the tree (Ramage *et al.*, 2017). Being «biogeochemical feature[s] or system[s] within the territory […] within which carbon […] is stored» by accumulating CO_2, forests are "carbon pools", and the mass of carbon stored in a pool is defined "carbon stock" (EP, 2018). A carbon pool operates as a "net carbon sink" if, «during a given time interval, more carbon is flowing into it than is flowing out» (Grassi *et al.*, 2021), since it activates a «process, activity or mechanism that removes a greenhouse gas […] from the atmosphere» (EP, 2018) (IPCC, 2019). When part of a forest is cut, the carbon sequestered during the plants' growth cycle remains stored in the roundwood, and keeps on being stored in the products that will be later

04| Superficie a foreste nella UE, incluse protette e potenzialmente produttive, Martino Dereani su dati Eurostat (2015) ed EEA (2018)
Forest covered areas in the EU, including protected and potentially productive ones, Martino Derani on Eurostat (2015) and EEA (2018) data



estese per fornire la quantità di materiale richiesta (Fig. 4) e, al contempo, compensare il carbonio dislocato nei prodotti che, prima o poi, rilasceranno la CO_2 immagazzinata in atmosfera o nel suolo?

Assorbimento e sequestro operati dagli alberi variano in base a specie, latitudine e fase del ciclo di vita della pianta. I prodotti in legno con funzione strutturale derivano da specie arboree diverse, i cui tondami sono soggetti a lavorazioni differenti in base a caratteristiche del legno e proprietà dei prodotti. La fabbricazione di *mass timber*, categoria più diffusa nel contesto europeo, si basa su conifere da cui derivare le tavole che compongono gli elementi stratificati. Il *composite lumber*, di più recente introduzione nel mercato comunitario, è realizzato con sfogliati (*veneer*) o scaglie (*strand*) – spesso di latifoglie a rapido accrescimento. In ottica di effettivo "rinnovo" delle risorse, una valutazione complessiva dovrebbe considerare le dinamiche estrattive unitamente alla vita utile di edifici e prodotti (Fig. 5), ma anche l'energia e le emissioni relative a manifattura e distanze di trasporto perché tali esternalità non vanifichino il carbonio già stoccato nei prodotti.

Una ricerca di Ramage *et al.* (2017) nota che per compensare l'attuale budget globale di carbonio sarebbe richiesto un (improbabile) incremento del 20% dell'area attualmente dedicata a foreste sul pianeta, assumendo l'efficace stoccaggio di carbonio nei prodotti edilizi – ovvero, in quelli dalla vita utile più lunga. Grassi *et al.* (2021) hanno stimato che la neutralità climatica europea entro il 2050 implicherebbe «aumentare il pozzo [di foreste] dal livello corrente di -360 Mt CO_{2eq}/anno a quello di -450 Mt CO_{2eq}/anno», notando che «valutare gli effetti della sostituzione materiale è molto più complesso dello stimare l'entità di un pozzo di carbonio» (Grassi *et al.*, 2021). Pomponi *et al.* (2020) hanno analizzato la capacità delle foreste terrestri di fornire materiale sufficiente per costruire la superficie di pavimento prevista, in base alle proiezioni globali, per la metà del secolo. Il loro modello semplificato indica un bilancio sfavorevole tra domanda e offerta, suggerendo che la competizione dei mercati per l'uso del suolo minaccia «la capacità della Terra di rigenerare le risorse e fornire beni e servizi nel futuro» e sollevando dubbi sul «legno come soluzione "taglia unica"» (Pomponi *et al.*, 2020).

Conflitti di interesse

Le foreste immagazzinano carbonio e forniscono tondame per il legno da costruzione, ma non solo. La strategia di sostituzione su cui si basa la bioeconomia ha recentemente comportato una crescita nella domanda di prodotti derivati da attività forestali (UN and FAO, 2021), soprattutto bioplastiche e, paradossalmente, biocombustibili. La complessa interazione tra questi due settori, la domanda di legno per l'edilizia e il *carbon storage* delle foreste andrebbe esaminata in una prospettiva sistemica (Grassi *et al.*, 2021) e con sguardo interdisciplinare (Hetemaki *et al.*, 2024).

La bioeconomia forestale si basa su due concetti principali: che gli uomini possono soddisfare bisogni e desideri con l'uso sostenibile di risorse rinnovabili provenienti dalle foreste, e che

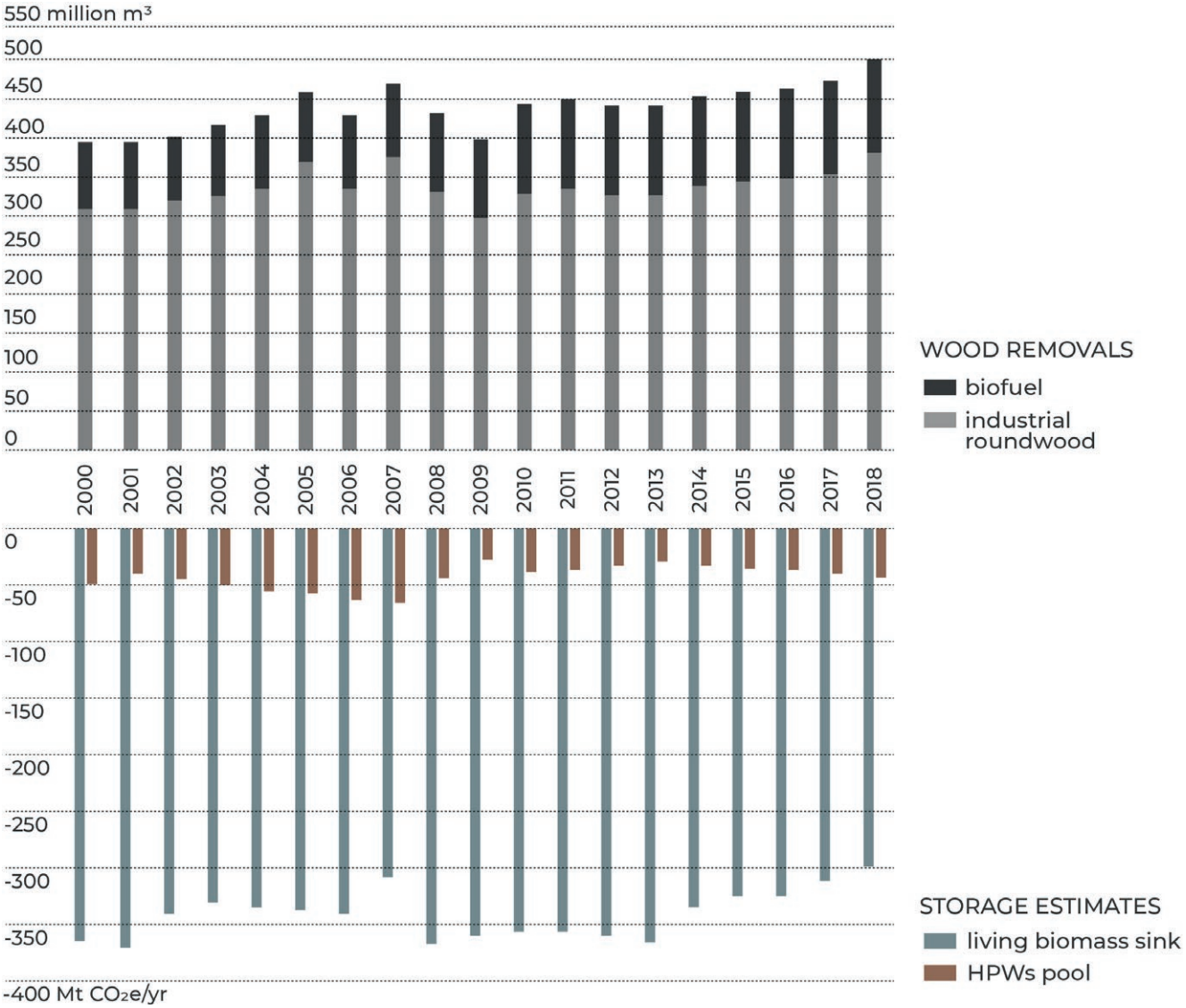
manufactured. The remaining part of the forest witnesses a reduction in its carbon stock. Indeed, continuing to perform uptake and sequestration, it still operates as carbon pool (storing carbon) and sink (removing more carbon from the atmosphere than the one released). The decrease in the forest carbon stock[2] corresponds to a transfer of carbon to another pool, namely to the harvested wood products (HWPs) (Fig. 3). Therefore, timber used in construction does store carbon. Nevertheless, as it no longer performs the uptake and sequestration processes, it can hardly be defined a carbon sink – nor can the buildings it is used in – but rather a carbon pool.

Estimating the biogenic carbon content in wood-based products is essential to evaluate the potential of HWPs in contributing to Carbon Capture and Storage (CCS) processes. It is a challenging topic (Ramage *et al.*, 2017). Besides doubts in allocating the carbon transferred from one pool to the other, the lack of a consensus on how to calculate biogenic carbon in a building's Life Cycle Assessment (LCA) depending on the system boundaries is a crucial factor. According to the "0/0" approach, which sees the building as detached from other systems, the amount of carbon released by HPWs at the end of life is the same one accumulated in the initial biomass (Hoxha *et al.*, 2020), an assumption that is quite distant from reality (Leturcq, 2020). Conversely, the "-1/+1" approach evaluates the input and output carbon flows for the building in a static or dynamic mode, considering the negative value resulting from the uptake (that took place in the "forest system"), and the positive one that would happen in the scenario depicted by module D, beyond the system boundaries (Hoxha *et al.*, 2020; Andersen *et al.*, 2021). Although the latter approach supports a more realistic evaluation, and is based on more information, the results could be misleading, whereas the LCA is limited to A1-A3 phases (cradle to gate). Moreover, even if the evaluation of the loads and benefits beyond the system boundaries entails recycling, the CO_2 storage in renewable construction products has an expiry date that cannot be overlooked. One way or another, and regardless of the amount of carbon embodied, at the element's End-of-Life the CO_2 will be released back into the soil, if landfilled, or into the atmosphere, if processed for energy recovery. The service life of elements deeply affects this timeframe and, since timber construction is in its youth, more data are needed about its durability performance to fully evaluate its advantages.

Material provision and provided sequestration

If timber is to be an essential construction material in the future, its availability should be investigated considering the window set by the European overarching policies addressing decarbonisation. This requires going beyond the conventional definition of "renewable" applied to resources, which assumes unlimited means at the designers' disposal, given that also fossil resources could be considered non-finite in a millions-of-years' time interval. 2050 is the deadline envisaged for carbon neutrality by the EU Green Deal and, accordingly, the New European Bauhaus, the initiative translating its objectives into tangible actions to deliver sustainable and inclusive built environments[3]. Forests are the resources that both absorb and store carbon, as well as allow its transfer into HWPs.

05| Trend area EU, comparazione tra tondame rimosso ed entità di pozzi forestali e stoccaggio in prodotti legnosi, adattato da Grassi et al. (2021)
Comparing the European trends of roundwood removal against forest sinks and HWP storage, adapted from Grassi et al. (2021)



Are they sufficiently extensive to provide for the estimated amount of material required (Fig. 4) while, at the same time, compensating for the carbon displaced in wood-based products that will sooner or later be released into the atmosphere or the soil?

The carbon uptake and sequestration performed by trees varies depending on species, latitude, and the plant growth cycle phase. Moreover, wooden structural products derive from different tree species, which undergo specific manufacturing processes depending on their characteristics and the properties required for the products. Mass timber, the most widespread engineered wood in the European context, relies on fir or spruce plants to obtain the sawn planks it is composed of. Conversely, composite lumber, more recently introduced in the EU market, is made up of veneer layers or strands – deriving in many cases from fast-growing broadleaved plants. In light of an actual "renewal" of resources, a comprehensive evaluation should consider the extractive dynamics together with the lifespans of buildings and products (Fig. 5), but also the energy and emissions related to manufacturing and transport to prevent such aspects from nullifying the carbon stored in products.

An extensive review provided by Ramage *et al.* (2017) observed that the current global carbon budget would require an (unlikely) 20% increase in the existing area of forests worldwide, assuming an effective storage of carbon in building products – that is, in long-lasting ones. Grassi *et al.* (2021) estimated that, by 2050, European carbon neutrality would imply «increasing the net sink [of forest land] from the current level of -360 Mt CO_{2eq}/yr to -450 Mt CO_{2eq}/yr», remarking how «estimating the material substitution [strategy] effects is more complex than estimating a net carbon sink» (Grassi *et al.*, 2021). Pomponi *et al.* (2020) considered the capacity of global forests to deliver the planned required floor area by mid-century. Their simplified model depicts an unfavourable worldwide balance between supply and demand, leading the researchers to observe that market competition for land undermines «Earth's capacity to regenerate resources and provide goods and services in the future», and to question «timber as a "one-size-fits-all" solution» (Pomponi *et al.*, 2020).

Conflicts of interest

Forests store carbon and supply roundwood to be manufactured into timber, but those are not their only supplies. The substitution strategy on which bioeconomy relies has been recently increasing the demand of forest-based products (UN and FAO, 2021) in the bioplastics sector and, paradoxically, in the biofuels one. The complex interaction between these two aspects, namely timber demand and carbon storage of forests, should be examined through a systemic perspective (Grassi *et al.*, 2021) and by cross-disciplinary research (Hetemaki *et al.*, 2024).

A forest bioeconomy relies on two main concepts, the first being that humans can fulfil their needs or desires with the sustainable use of renewable forest resources, and the second that such economy can introduce innovative, resource efficient, circular and sustainable forest-based products into markets (Hetemaki *et al.*, 2024). Forests and other wooded land occupy around 43% of EU land and provide a wide range of ecosystem services, be-

questa economia può introdurre nei mercati prodotti innovativi, efficienti nell'uso di risorse, circolari e sostenibili (Hetemaki *et al*., 2024). Foreste e aree boschive occupano circa il 43% della superficie europea, fornendo un ampio range di servizi ecosistemici oltre a cattura e stoccaggio di carbonio (EC, 2018, p. 38), inclusi regolazione e purificazione delle acque, biodiversità, mitigazione del cambiamento climatico, ma anche servizi di tipo economico, sociale e culturale. La domanda di bioplastiche, utilizzate in packaging, elettronica di consumo, automotive, agricoltura e tessili tra gli altri, ha visto una crescita in aderenza a quella dell'intera bioeconomia (EC, 2018). La biomassa supplisce al 12% della domanda di energia finale europea (EC, 2018) e, nella regione UNECE, alcuni regolamenti ancora ne «incoraggiano l'uso [...] (inclusa la legnosa) per l'energia come parte delle strategie per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili» (UN and FAO, 2021).

Non solo le foreste, per quanto rinnovabili, sono risorse limitate (Hetemaki *et al*., 2024), ma la transizione verso l'economia bio-based aggrava le «capacità rigenerative degli ecosistemi forestali [che] hanno [già] visto una riduzione per ragioni che includono cambiamento climatico, degrado del paesaggio, erosione del suolo, incendi e parassiti, per citarne alcune» (UN and FAO, 2021). Inoltre «negli ultimi anni sono stati osservati segni di una riduzione nello stoccaggio di carbonio, per lo più dovuta ai cambiamenti nell'età media delle foreste europee» (EC, 2018), mentre il futuro, inevitabile, adattamento delle stesse al cambiamento climatico è ancora poco studiato (Hetemaki *et al*., 2024). Ciò aumenta le incertezze sulle stime dei servizi ecosistemici che le foreste potranno fornire nel tempo. Considerando che le strategie di sostituzione materiale difficilmente compenseranno la riduzione dei *carbon sink* forestali a breve e medio termine (Grassi *et al*., 2021), arco di tempo in cui «costruire in legno non è *climate neutral*» (Goswein *et al*., 2022), tutti i trade-off delineati sono cruciali.

Conclusioni

«Gli edifici sono raramente fatti isolati. Le forme urbane possiedono le proprie dinamiche interne, circa il modo in cui gli edifici si relazionano tra loro [...] o con la natura» (Sennett, 2023).

Le città come infrastrutture puramente *carbon neutral* nel loro perimetro non possono esistere, ma la neutralità climatica è possibile se si rispetta una condizione essenziale: introdurre in quella semplice equazione – "più carbonio imprigionato negli edifici, meno carbonio nell'atmosfera" – il contesto territoriale, così da correggerla. Il capitale naturale richiede una comprensione sistemica e, per costruire proiezioni solide e consapevoli del contesto, che guidino le politiche in modo coordinato verso il gol delle emissioni zero, è necessario un approccio interdisciplinare. Le dinamiche tecniche e costruttive delle aree urbane dovrebbero quindi basarsi sulla relazione simbiotica con il territorio dal quale estraggono incessantemente risorse.

E per quanto riguarda il legno? «Qualcuno potrebbe chiedersi, ne vale ancora la pena? La risposta è, come sempre, dipende» (Pomponi *et al*., 2020). L' uso del legno ingegnerizzato può giocare una parte significativa nella decarbonizzazione delle aree urbane. Se le città agiranno come depositi di carbonio, è necessario aumentare la vita utile e il grado di circolarità degli elementi a base legno, nonché considerare il contributo fornito anche da altri materiali *bio-based*.

sides carbon capture and storage (EC, 2018, p. 38). Such services include water regulation and purification, biodiversity, climate change mitigation, but also economic and social services, as well as cultural ones. The demand for bioplastics, used in packaging, consumer electronics, automotive, agriculture and textiles, among other products, has been globally growing, and so has the whole bioeconomy (EC, 2018). Bioenergy currently supplies 12% of the EU's final energy demand (EC, 2018) and, in the UNECE Region, several regulations still «encourage solid biomass use (including woody biomass) for bioenergy use as a part of ongoing efforts to reduce dependence on fossil-based products» (UN and FAO, 2021). Despite being renewable, forests are still limited resources (Hetemaki *et al*., 2024), and the transition towards a biobased economy weighs on «the regenerative capacities of forest ecosystems [that] have [already] been decreasing for reasons that include climate change, landscape degradation, soil erosion, forest fires and pests to name but a few» (UN and FAO, 2021). Moreover, «signs of decreasing carbon storage have been observed in recent years mainly due to the changing age structure of EU forests» (EC, 2018), and the future, unavoidable, adaptation of forests to climate change has been scarcely addressed by research (Hetemaki *et al*., 2024). This adds some uncertainty to the estimates of ecosystem services forests will supply in the future. All the depicted trade-offs are crucial, considering that the material substitution strategy will unlikely compensate for the related reduction of the forests' carbon sink in a short to medium term (Grassi *et al*., 2021), a time frame in which «timber construction is not climate neutral» (Goswein *et al*., 2022).

Conclusion

«Buildings are seldom isolated facts. Urban forms have their own inner dynamics, as in how buildings relate to one another [...] or to nature» (Sennett, 2023). Cities cannot exist as purely carbon neutral infrastructures within their own perimeter, but climate neutrality is possible if one essential condition is met, namely by introducing the territorial context into that simple equation – "the more carbon locked up in buildings, the less in the atmosphere", in order to correct it. Our natural capital requires a systemic understanding, and multidisciplinary research is required to build solid and context-based projections steering coordinated policies accordingly towards the net zero emissions goal. Technical and construction dynamics of urban areas should, therefore, inherently be managed based on the symbiotic relationship with the territory they ceaselessly draw resources from.

And what about timber? «One might ask, is it still worth it? The answer is, as usual, it depends» (Pomponi *et al*., 2020). Of course, the use of engineered wood could play a significant role in decarbonising urban areas. If cities will act as carbon storage, then the wood-based building elements' lifespan and circularity must be improved, and the contribution of other biobased materials considered.

Although renewable, forests will unlikely supply the expected amount of timber in a short timeframe, and it is even more unlikely that they will meet this demand while guaranteeing the other bioeconomy markets the same without a decline in the ecosystem ser-

Per quanto rinnovabili, le foreste difficilmente potranno fornire la quantità di legno da costruzione richiesta in un arco temporale limitato e, ancor più difficilmente, soddisfare tale domanda garantendo lo stesso agli altri settori della bioeconomia senza una riduzione nei servizi ecosistemici. Una futura gestione integrata città-territorio dovrebbe affrontare questo tema, prediligendo prodotti edilizi *bio-based* legati al contesto più prossimo e derivati da coltivazioni dai rapidi cicli di accrescimento, per regolare in modo più efficiente l'andamento dei trasferimenti di risorse e carbonio.

ATTRIBUZIONE E RICONOSCIMENTI

Questa ricerca e l'APC sono stati finanziati dall'Unione Europea, RFF *NextGenEU grant number* ECS00000043, attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) italiano, M4C2 – investimento 1.5: Creazione e rafforzamento di "Ecosistemi di Innovazione per la Sostenibilità", attraverso il programma di ricerca *Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem* (iNEST) – *Spoke 4*, CUP F43C22000200006. L'autore ringrazia il prof. M. Condotta per i suoi suggerimenti e M. Dereani per la Fig. 4.

NOTE

[1] Anche se l'apporto dei prodotti naturali per l'isolamento potrebbe essere considerato in termini di decarbonizzazione, la Strategia per la Bioeconomia menziona solo il legno ingegnerizzato.

[2] Definito *net carbon source*.

[3] Il *Wood Sector Alliance* esplicita il ruolo immaginato per il legno nel contesto del NEB: «materiale naturale estremamente versatile […], circolare per eccellenza [che] può immagazzinare carbonio per decenni o secoli in edifici e ambienti di vita» (https://wood4bauhaus.eu/, accessed on 23.08.2024).

REFERENCES

Andersen, C.E., Rasmussen, F.N., Habert, G. and Birgisdóttir, H. (2021) "Embodied GHG Emissions of Wooden Buildings – Challenges of Biogenic Carbon Accounting in Current LCA Methods", *Front. Built Environ* 7, 729096. Available at: 10.3389/fbuil.2021.729096 (Accessed on 03/02/2025).

Arehart, J. H., Hart, J., Pomponi, F., and D'Amico, B. (2021). "Carbon sequestration and storage in the built environment", *Sustainable Production and Consumption* n. 27, pp. 1047–1063. Available at: https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.028 (Accessed on 03/02/2025).

European Commission (EC) (2018), *A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*, Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available at: https://doi.org/10.2777/792130 (Accessed on 03/02/2025).

European Commission (EC) (2021), *New EU Forest Strategy for 2030. COM (2021) 572 final*. Brussels, Belgium. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021DC0572 (Accessed on 03/02/2025).

European Parliament (EP) (2018), *Regulation (EU) 2018/841 of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU*. OJ L 156, 19.6.2018, pp. 1–25.

Göswein, V., Arehart, J., Phan-huy, C., Pomponi, F. and Habert, G. (2022). "Barriers and opportunities of fast-growing biobased material use in buildings", *Buildings and Cities* vol.3 (1), pp. 745–755. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.254 (Accessed on 03/02/2025).

Grassi, G., Fiorese, G., Pilli, R., Jonsson, K., Blujdea, V., Korosuo, A. and Vizzarri, M. (2021), *Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution*, European Commission, JRC124374. Available at: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC124374 (Accessed on 03/02/2025).

Hetemaki, L., D'Amato, D., Giurca, A., and Hurmekoski E. (2024), "Synergies and trade-offs in the European forest bioeconomy research: State of

vices provided. A future city-territory integrated management should address this issue by leaning toward bio-based building products deriving from fast-growing resources, and coherent with the nearby context to better regulate resources and carbon transfer patterns.

ACKNOWLEDGMENTS

This research and the APC were funded by the European Union, RFF NextGenEU grant number ECS00000043, through the Italian National Recovery and Resilience Plan (PNRR), M4C2 – investment 1.5: Creation and strengthening of "Innovation Ecosystems for Sustainability", through the Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem (iNEST) research programme – Spoke 4, CUP F43C22000200006. The author thanks prof. Massimiliano Condotta for his valuable suggestions and Martino Dereani for Fig. 4.

NOTES

[1] Although natural insulation products could also be considered relevant, the Bioeconomy Strategy only mentions engineered wood to support construction decarbonisation.

[2] Defined as "net carbon source".

[3] The established Wood Sector Alliance exemplifies the role envisaged in the NEB context for timber «an extremely versatile natural material […], a circular material par excellence [that] can store carbon for decades or even centuries in buildings and living spaces» (https://wood4bauhaus.eu/, accessed on 23.08.2024).

the art and the way forward", *Forest Policy and Economics* 163, 103204. Available at: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103204 (Accessed on 03/02/2025).

Hoxha, E., Passer, A., Ruschi Mendes Saade, M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., Allacker, K. and Habert, G. (2020), "Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods", *Buildings and Cities*, vol.1 (1), pp. 504–524. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.46 (Accessed on 03/02/2025).

IPCC (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Glossary*. Available at: https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/ (Accessed on 03/02/2025).

Le Den, X., Steinmann, J., Kovacs, A., Kockat, J., Toth, Z., Röck, M., Allacker K. (2023), *Supporting the development of a roadmap for the reduction of whole life carbon of buildings – Final report*. Available at: https://op.europa.eu/s/zQh7 (Accessed on 03/02/2025).

Leturcq, P. (2020), "GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution", *Scientific Reports* 10, 20752. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-020-77527-8 (Accessed on 03/02/2025).

Mancuso S. (2023), *Fitopolis, la città vivente,* Bari, Laterza

Pomponi, F., Hart, J., Arehart, J.H. and D'Amico, B. (2020), "Buildings as a Global Carbon Sink? A Reality Check on Feasibility Limits", *One Earth* Vol. 3, pp. 157-161. Available at: https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.07.018 (Accessed on 03/02/2025).

Ramage, M., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P.F., Scherman, O. (2016), "The wood from the trees: The use of timber in construction", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 68, pp. 333–359. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107 (Accessed on 03/02/2025).

Sennett R. (2023), *Building and Dwelling: Ethics for the City*, New Haven, London, Yale University Press.

United Nations Environment Programme (UNEP) and Yale Center for Ecosystems + Architecture (YCE+A) (2023), *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. United Nations Environment Programme, Nairobi. Available at: https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293 (Accessed on 03/02/2025).

United Nations (UN) and Food and Agriculture Organisation (FAO) (2021), *Circularity concepts in forest-based industries,* United Nations, Geneva. Available at: https://unece.org/forests/publications/circularity-concepts-forest-based-industries (Accessed on 03/02/2025).

United Nations Environment Programme (UNEP) and Global Alliance for Buildings and Construction (GABC), *Global Status Report for Buildings and Construction – Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. Available at: https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45095 (Accessed on 03/02/2025).

Post-decarbonizzazione e Intelligenza Artificiale Generativa. Verso una possibile metodologia operativa

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Angelo Figliola[1], https://orcid.org/0000-0001-8862-6582 angelo.figliola@uniroma1.it
Maurizio Barberio[2], https://orcid.org/0000-0001-8714-5306 maurizio.barberio@poliba.it
[1] Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, La Sapienza Università di Roma, Italia
[2] Dipartimento di Meccanica, Matematica e Management, Politecnico di Bari, Italia

Abstract. La recente introduzione degli strumenti di Intelligenza Artificiale Generativa nella progettazione architettonica ha aperto al contempo nuove possibilità e sollevato interrogativi riguardo al loro uso appropriato in processi progettuali olistici, come quelli legati alla progettazione ambientale. In un contesto di post-decarbonizzazione, dove l'obiettivo è ridurre drasticamente le emissioni di CO_2 e promuovere pratiche rigenerative, è necessario evitare l'adozione acritica di questi strumenti. Pertanto, il contributo propone una metodologia operativa che integra tali strumenti all'interno del *Sustainable-Aided Design*, un approccio olistico che mira a colmare il divario tra progettazione architettonica e progettazione ambientale fin dalla fase *early* stage della progettazione.

Parole chiave: *Generative artificial intelligence; Sustainable-Aided Design; Data-Driven; Decarbonization; Methodology*.

Introduzione

Il settore delle costruzioni (AEC) nella sua intera filiera, dalla progettazione alla costruzione, è responsabile di una quota rilevante delle emissioni globali di anidride carbonica contribuendo in maniera significativa al cambiamento climatico antropogenico (Yahaya *et al.,* 2022). All'interno di questo scenario, sono state definite nuove politiche comunitarie europee per la decarbonizzazione, tra le quali la recente approvazione della direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD), il *Green Deal europeo* e il *Fit for 55* che mirano a ridurre le emissioni di gas serra del 55% entro il 2030. Per quanto riguarda la Progettazione Ambientale (PA) uno degli obiettivi principali consiste nel ridurre l'impatto ambientale attraverso un approccio *performance-based* fin dalle prime fasi del processo progettuale, grazie all'interoperabilità dei software che consentono di effettuare analisi appropriate nelle diverse fasi progettuali. A riguardo, è necessario che i progettisti dispongano di strumenti adeguati a supportarli nelle scelte, in particolare nella fase *early-stage* della progettazione, sin dall'elaborazione del concept, in quanto questa fase del processo progettuale ha un'influenza significativa sulla decarbonizzazione del patrimonio. I recenti progressi tecnologici hanno accelerato in modo significativo lo sviluppo di diversi strumenti di Intelligenza Artificiale (AI) trasformando profondamente un'ampia gamma di discipline, tra cui l'architettura. Conversare con l'AI, generare immagini da prompt testuali utilizzando reti neurali e modelli predittivi: questa abbondanza tecnologica segna la nuova frontiera delle professioni creative e tecniche creando uno step ulteriore rispetto ai processi computazionali *data-driven* e *performance-based,* oramai realtà consolidate nell'ambito della PA. L'abbondanza tecnologica, da un lato favorisce la creatività promuovendo un approccio transdisciplinare e olistico, mentre dall'altro potrebbe fornire soluzioni efficaci a questioni spinose legate alla transizione digitale ed ecologica. È quindi fondamentale indagare la possibilità di impiegare tali strumenti nella fase *early-stage* della progettazione e valutare la loro efficacia nell'ambito della *Sustainable-Aided Design* (SADE). A riguardo, il saggio esamina le potenzialità e le sfide dell'impiego di recenti strumenti di *Generative Artificial Intelligence* (GenAI), come chatbot e *text-to-image*, nel contesto della SADE, con l'intento di fornire una metodologia operativa e una valutazione critica della loro applicabilità nell'affrontare questioni concrete come la decarbonizzazione.

Post-decarbonisation and Generative Artificial Intelligence. Towards a possible methodology

Abstract. The recent introduction of Generative Artificial Intelligence tools in architectural design has simultaneously opened new possibilities and raised questions about their appropriate use in holistic design processes, such as those related to environmental design. Avoiding the uncritical adoption of these tools is essential in a post-decarbonisation context, where the goal is to drastically reduce CO_2 emissions and promote regenerative practices. Therefore, this paper proposes an operational methodology that integrates such tools within Sustainable-Aided Design, a holistic approach aimed at bridging the gap between architectural design and environmental design from the ultra-early stage of the design process.

Keywords: Generative artificial intelligence; Sustainable-Aided Design; Data-Driven; Decarbonisation; Methodology.

Introduction

The entire supply chain of the construction sector (AEC), from design to construction, is responsible for a significant share of global carbon dioxide emissions, contributing substantially to anthropogenic climate change (Yahaya *et al.,* 2022). New community policies for decarbonisation have been defined within this scenario, including the recent approval of the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), the European Green Deal, and the Fit for 55 packages, which aims to reduce greenhouse gas emissions by 55% by 2030. Regarding Environmental Design (ED), one of the main approaches consists in reducing environmental impact through a performance-based approach from the early stages of the design process thanks to the interoperability of software that allows for appropriate analyses at different design phases. In this regard, designers need adequate tools to support their choices, particularly in the early stage design phase from concept development onwards, as these have a significant influence on decarbonisation of built heritage. Recent technological advancements have significantly accelerated the development of various Artificial Intelligence (AI) tools, profoundly transforming a wide range of disciplines, including architecture. Conversing with AI, generating images from textual prompts using neural networks, and training predictive models: this technological abundance marks the new frontier of creative professions, defining a further step beyond the data-driven and performance-based computational processes that now represent established realities in the field of ED. This technological abundance fosters crea-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16538

AI per la post-decarbonizzazione

L'AI è una tecnologia emergente basata sull'impiego di algoritmi e istruzioni automatizzate, che simulano i processi di apprendimento e processo decisionale del cervello umano. Metodi e strumenti correlati con l'AI sono diventati parte integrante delle tecnologie digitali impiegate per la progettazione di architetture sostenibili e resilienti (Ferrante and Romagnoli, 2023). Il termine generico AI ingloba un'ampia gamma di tecnologie con un grado di complessità crescente, tra le quali troviamo il *Machine Learning* (ML), algoritmi con capacità di autoapprendimento senza una programmazione specifica, *Deep Learning* (DL), *Reinforcement Learning* (RL) e di reti neurali convoluzionali (CNN) ovvero di algoritmi che impiegano reti neurali artificiali per adattarsi e apprendere da vaste quantità di dati senza istruzioni specifiche (Vissers-Similon *et al.,* 2024). Algoritmi di ML vengono attualmente impiegati per integrare la progettazione architettonica, a diverse scale, e l'analisi delle prestazioni ambientali, sfruttando la capacità degli stessi di analizzare una vasta quantità di dati e utilizzare questi ultimi per predire le prestazioni evitando processi di simulazione complessi e *time-consuming* (Galanos, 2019) aprendo, di fatto, alla democratizzazione dei processi *data-driven* e *performance-based*. Attualmente sono presenti innumerevoli soluzioni sul mercato che permettono di esplorare diverse varianti progettuali, grazie all'integrazione con i principali software di modellazione tridimensionale in commercio, per poi compararle sulla base di *Key Performance Indicators* (KPI) specifici definiti dal progettista. Processi di ML vengono utilizzati per valutare in maniera speditiva benchmark progettuali quali *daylighting*, radiazione solare, consumi energetici, comfort outdoor, al variare dei parametri che descrivono una specifica soluzione progettuale (Płoszaj-Mazurek and Rynska, 2024). Alla base di tali processi c'è un modello digitale parametrico attraverso cui generare le varianti da esplorare e quindi un controllo del progettista per quello che concerne layout funzionale, geometria e materiali. L'integrazione di DL e RL nella progettazione architettonica offre vantaggi significativi nell'ottimizzazione dell'efficienza energetica degli edifici. Attraverso la generazione automatica e la simulazione di diversi layout progettuali uniti alla valutazione delle prestazioni, è possibile esplorare diverse soluzioni al fine di selezionare quella in grado di ottimizzare l'efficienza energetica senza aumentare i costi di costruzione (Karimi *et al.,* 2024). L'impiego estensivo di algoritmi di DL su vaste quantità di dati multimodali è alla base dello sviluppo dei *Large Language Models* (LLM), ampiamente utilizzati in diversi ambiti professionali e di ricerca (Rane, 2023), e della GenAI. I LLM sono alla base dello sviluppo di software commerciali come ChatGPT e Gemini, garantendo il funzionamento di varie applicazioni di elaborazione del linguaggio naturale. Numerose ricerche impiegano tali modelli per espletare una serie di operazioni volte all'automazione dei processi e a coadiuvare il *data-driven decision-making* quali: interrogazione ed esplorazione di dataset e database esterni, strutturazione di dati e generazione di parametri attraverso apposite funzioni. A differenza dei LLM, la GenAI impiega modelli di DL in grado di creare autonomamente contenuti originali su richiesta, come testi, immagini, video, audio o codice software, in risposta al prompt o alla richiesta di un utente. Tale tecnologia è alla base dello sviluppo di *software* quali *Midjourney, DALL-E, Adobe Firefly, Flux (*Krea.ai*)* e *ComfyUI,* che permettono di generare im-

tivity by promoting a transdisciplinary and holistic approach. It could also provide effective solutions to thorny issues related to digital and ecological transition. It is, therefore, crucial to investigate the possibility of employing such tools in the early stage design phase, and to evaluate their effectiveness in the context of Sustainable-Aided Design (SADE). In this regard, the paper examines the potential and challenges of using recent Generative Artificial Intelligence (GenAI) tools, such as chatbots and text-to-image, in the context of SADE, to provide an operational methodology and a critical evaluation of their applicability in addressing concrete issues such as decarbonisation of built heritage.

AI for post-decarbonisation

AI is an emerging technology based on algorithms – automated instructions – that simulate the learning and decision-making processes of the human brain. Methods and tools related to AI have become an integral part of the digital technologies used for designing sustainable and resilient architectures (Ferrante and Romagnoli, 2023). The general term AI encompasses a wide range of technologies with increasing complexity, including Machine Learning (ML), algorithms with self-learning capabilities without specific programming, Deep Learning (DL), Reinforcement Learning (RL), and Convolutional Neural Networks (CNN), which use artificial neural networks to adapt and learn from vast amounts of data without explicit instructions (Vissers-Similon *et al.,* 2024). ML algorithms are currently being used to integrate architectural design at various scales, and to analyse environmental performance, leveraging their ability to analyse large amounts of data and use them to predict performance, thus avoiding complex and time-consuming simulation processes (Galanos, 2019). This effectively democratises data-driven and performance-based processes. There are currently numerous solutions on the market, which allow the exploration of different design variants through integration with major 3D modelling software, and comparison based on specific Key Performance Indicators (KPIs) defined by the designer. ML processes are used to quickly evaluate design benchmarks such as daylighting, solar radiation, energy consumption, and outdoor comfort, varying the parameters that describe a specific design solution (Płoszaj-Mazurek and Rynska, 2024). These processes are underpinned by a parametric digital model through which design variants are generated, providing the designer control over functional layout, geometry, and materials. The integration of DL and RL in architectural design offers significant advantages in optimising the energy efficiency of buildings. Automatic generation and simulation of various design layouts combined with performance evaluation allow to explore different solutions to select the one that optimises energy efficiency without increasing construction costs (Karimi *et al.,* 2024). The extensive use of DL algorithms on vast amounts of multimodal data underpins the development of Large Language Models (LLMs), which are widely used in various professional and research fields (Rane, 2023), and GenAI. LLMs are crucial for the development of commercial software like ChatGPT and Gemini, powering various natural language processing applications. Numerous studies employ these models

magini da prompt testuali. L'introduzione della GenAI nel *conceptual design* consente di esplorare soluzioni innovative, supportare decisioni informate con simulazioni e analisi predittive e automatizzare compiti ripetitivi, lasciando più spazio alla fase ideativa e configurandosi come strumento fondamentale per raggiungere la neutralità climatica (Choi and Yoon, 2024). Inoltre, la capacità dell'AI di analizzare e aggregare dati complessi facilità l'ideazione di progetti che integrano diverse esigenze funzionali favorendo la collaborazione multidisciplinare e alimentando l'intelligenza collettiva con apprendimento continuo (Guarini *et al.,* 2024). Ciò garantisce che i progetti siano co-creati e rispondano alle esigenze di tutte le figure coinvolte. A riguardo, l'AI può facilitare la co-creazione di progetti pilota attraverso appalti innovativi e piattaforme di apprendimento collaborativo, promuovendo la collaborazione tra enti pubblici, privati e comunità locali.

GenAI per la progettazione architettonica

Esaminando la recente ricerca in ambito accademico e professionale, è possibile affermare che l'integrazione della GenAI nei processi di progettazione architettonica possiede un potenziale per lo più inesplorato in grado di impattare in modo deciso la pratica architettonica. Il suo utilizzo come strumento di assistenza alla progettazione la trasforma in una forma di "*augmented intelligence*", potenziando le capacità degli architetti di indagare nuovi concept progettuali. Inoltre, la capacità dell'AI di generare in modo semi-autonomo metaprogetti architettonici determina nuove opportunità per innovare il processo creativo, stimolando di conseguenza il dibattito critico all'interno della disciplina (del Campo and Leach, 2022). Prima dell'avvento della GenAI, i progettisti hanno utilizzato tecniche di AI per districarsi tra requisiti variabili e potenziali soluzioni differenti, favorendo creatività e innovazione. Con l'introduzione di tecniche di AI generativa, come *text-to-image* e *text-to-3D*, si è verificato un cambiamento di paradigma nel design architettonico: queste tecnologie permettono un approccio altamente esplorativo, superando per certi versi la progettazione computazionale generativa tradizionale. La GenAI introduce infatti una maggiore componente di casualità nella risposta agli input del progettista, che può portare a risultati inattesi e innovativi, aggiungendo un livello di imprevedibilità al processo creativo. Ricerche come quella di Matias del Campo sulla *Neural Architecture* (del Campo, 2022) sottolineano il potenziale che è possibile esplicare unendo la pratica architettonica tradizionale con i progressi dell'AI, favorendo un'interazione dinamica tra materialità ed espressione simbolica, accentuata dall'utilizzo di istruzioni testuali come strumento progettuale. Questa convergenza permette agli architetti di interrogare l'AI come strumento di progettazione, ampliando il campo delle possibilità pur mantenendo i valori umanistici essenziali per il progresso della disciplina architettonica. Abbracciando l'AI nel *conceptual design*, gli architetti possono sfruttare la potenza computazionale per generare design maggiormente intricati, ottimizzare le configurazioni spaziali e semplificare processi complessi, migliorando sia gli aspetti estetici che funzionali dei progetti. Inoltre, questo sforzo interdisciplinare, spinge i confini del design e stimola una riflessione critica sulla relazione in evoluzione tra tecnologia, cultura ed etica nell'ambiente costruito. Combinando creatività ed efficienza algoritmica, l'AI può fornire al progettista molti strumenti utili per il processo di progetta-

to perform a range of operations aimed at automating processes and supporting data-driven decision-making, such as querying and exploring datasets and external databases, structuring unstructured data, and generating parameters through specific functions. Unlike LLMs, GenAI uses DL models capable of autonomously creating original content on demand, such as text, images, videos, audio, or software code, in response to a user's prompt or request. This technology is at the core of software development like Midjourney, DALL-E, Adobe Firefly, Flux (Krea.ai), and ComfyUI, which allow the generation of images from textual prompts. The introduction of GenAI in conceptual design allows the exploration of innovative solutions, supports informed decisions with simulations and predictive analysis, and automates repetitive tasks, leaving more space for the ideation phase, configuring itself as a fundamental tool to achieve climate neutrality (Choi and Yoon, 2024). Furthermore, the ability of AI to analyse and aggregate complex data facilitates the conception of projects that integrate different functional needs, favouring multidisciplinary collaboration and fuelling collective intelligence with continuous learning (Guarini *et al.,* 2024). This ensures that projects are co-created and respond to the needs of all the figures involved. In this regard, AI can facilitate the co-creation of pilot projects through innovative procurement and collaborative learning platforms, promoting collaboration between public and private entities and local communities.

GenAI for Architectural Design

Recent academic and professional research suggests that integrating GenAI into architectural design processes has a largely unexplored potential to significantly impact architectural practice. Its use as a design assistance tool transforms it into a form of "augmented intelligence", enhancing architects' abilities to investigate new design concepts. Moreover, AI's capacity to semi-autonomously generate architectural metaprojects creates new opportunities to innovate the creative process, stimulating critical debate within the discipline (del Campo and Leach, 2022). Before the advent of GenAI, designers used AI techniques to navigate variable requirements and different potential solutions, fostering creativity and innovation. With the introduction of generative AI techniques, such as text-to-image and text-to-3D, a paradigm shift has occurred in architectural design. These technologies allow for a highly exploratory approach, in some ways surpassing traditional generative computational design. GenAI introduces a greater element of randomness in responding to the designer's inputs, which can lead to unexpected and innovative results, adding a level of unpredictability to the creative process. Research such as Matias del Campo's on Neural Architecture (del Campo, 2022) highlights the potential of combining traditional architectural practice with AI advancements, fostering a dynamic interaction between materiality and symbolic expression, enhanced using textual instructions as a design tool. This convergence allows architects to interrogate AI as a design tool, expanding the field of possibilities while maintaining the humanistic values essential for the progress of the architectural discipline. By embracing AI in conceptual design, architects can harness computational power to generate more intricate de-

zione (Fig. 1): partendo da un processo di *text-to-image*, è possibile successivamente creare modelli tridimensionali attraverso tecniche tradizionali, modellando manualmente forme che riproducono il concept sviluppato dall'intelligenza artificiale. D'altro canto, quando le tecniche di *text-to-image* vengono integrate in un processo progettuale basato su modellazione parametrica, la GenAI può essere impiegata per facilitare la visualizzazione architettonica. Questo consente una valutazione più rapida ed efficiente dell'impatto architettonico di diverse soluzioni progettuali all'interno del contesto di riferimento. Tuttavia, è importante sottolineare che l'avvento della GenAI presenta sia opportunità che sfide per il design sostenibile. Da un lato, la GenAI permette di generare concept progettuali in modo più rapido e con minor sforzo. Dall'altro lato, è importante sottolineare che attualmente non sono stati sviluppati processi o strumenti capaci di generare progetti intrinsecamente sostenibili utilizzando la GenAI a partire da semplici istruzioni testuali. Di conseguenza, l'uso della GenAI potrebbe complicare l'integrazione di pratiche di progettazione sostenibile snelle nella prassi progettuale corrente, come quelle proposte dal metodo SADE.

Sustainable Aided Design (SADE)

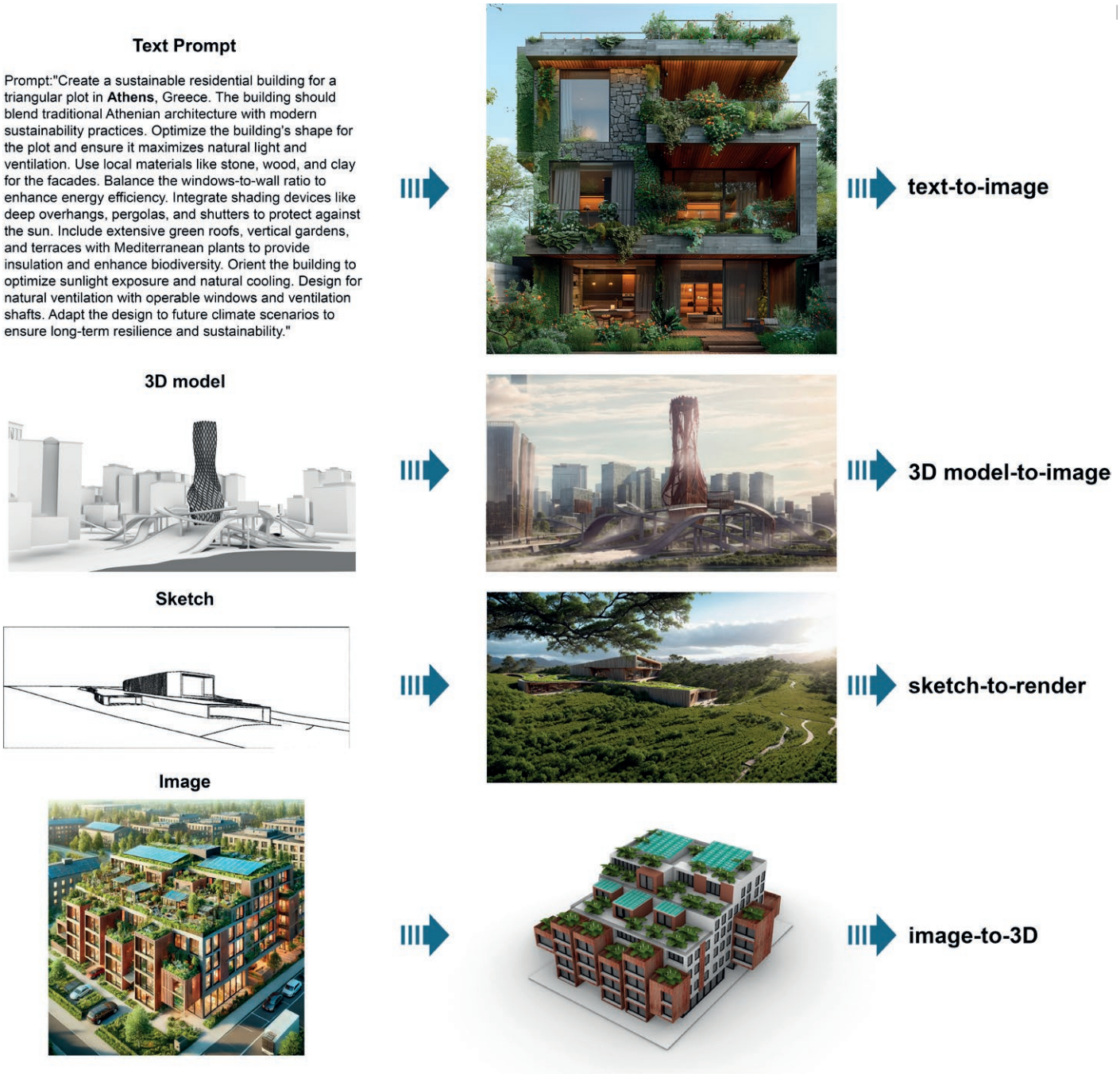
SADE è una metodologia di progettazione ambientale orientata alla "tutela", con l'obiettivo di ridurre, sin dalla fase *early-stage*, il tasso di fallimento di una proposta progettuale attraverso un uso efficiente delle risorse energetiche e materiali, e di aumentare la probabilità di integrazione del progetto nel contesto specifico. Il framework su cui si basa la metodologia SADE comprende diverse fasi chiave. Inizialmente, si procede con l'analisi dei requisiti progettuali e la definizione dei KPI. Successivamente, si conduce un'analisi climatica preliminare, accompagnata dalla creazione di scenari climatici futuri, utili per ispirare e orientare le scelte progettuali iniziali. Un'altra fase fondamentale è l'analisi delle architetture vernacolari, volta a estrarre i principi che le caratterizzano. Dopo aver raccolto i dati preliminari, si passa a un'analisi critica dei risultati, che porta all'identificazione dei KPI correlati alla funzione dell'edificio. In questa fase, si sviluppano anche ipotesi meta-progettuali attraverso la creazione di concept 2D e 3D semplificati, tenendo in considerazione il diagramma psicrometrico e le principali strategie passive. I concept progettuali vengono quindi valutati utilizzando software parametrici, con un focus particolare sulla sostenibilità ambientale del progetto in relazione agli scenari climatici attuali e futuri, mediante un approccio *data-driven* e *performance-based*. Infine, il metaprogetto selezionato viene ulteriormente sviluppato qualificando gli aspetti tecnologici e dei materiali. Eventualmente, si procede anche al perfezionamento degli aspetti progettuali, ambientali e tecnologici. La progettazione basata su principi rigenerativi pone solide basi nello sviluppo del concept e nella lettura critica del contesto ambientale e socioculturale presente e futuro. Pertanto, è fondamentale adottare strumenti di analisi delle prestazioni integrati in software di modellazione tridimensionale per avere il pieno controllo del processo e utilizzare efficacemente le analisi come guida nello sviluppo del concept per aumentare sia le prestazioni quantitative che qualitative. A riguardo, le dirompenti innovazioni tecnologiche come la GenAI e LLM richiedono lo studio di nuove metodologie per garantire che le proposte progettuali generate attraverso quest'ultime rispondano ai principi di SADE.

signs, optimise spatial configurations, and simplify complex processes, improving both aesthetic and functional aspects of architectural projects. Furthermore, this interdisciplinary effort pushes the boundaries of design and stimulates critical reflection on the evolving relationship between technology, culture, and ethics in the built environment. Combining creativity and algorithmic efficiency, AI can provide the designer with many useful tools for the design process (Fig. 1). Indeed, starting from a text-to-image process, it is subsequently possible to create three-dimensional models by using traditional techniques, manually modelling shapes that reproduce the concept developed by AI. Conversely, when text-to-image techniques are integrated into a design process based on parametric modelling, GenAI can be used to facilitate architectural visualisation. This allows for a quicker and more efficient evaluation of the architectural impact of different design solutions within the reference context. However, it must be said that the advent of GenAI presents both opportunities and challenges for sustainable design. While GenAI allows for faster and less effortful generation of design concepts, it is important to note that currently, neither processes nor tools have been developed capable of generating inherently sustainable projects using GenAI from simple textual instructions. Consequently, the use of GenAI could complicate the integration of lean sustainable design practices into current design practices, such as those proposed by the SADE methodology.

Sustainable Aided Design (SADE)

SADE is an environmentally oriented design methodology focused on "protection" to reduce, from the early-stage phase, the failure rate of a design proposal through the efficient use of energy and material resources, and by increasing the likelihood of the project's integration into the specific context. The framework on which the SADE methodology is based comprises several key phases. Initially, the process begins with the analysis of design requirements and the definition of KPIs. Then, a preliminary climate analysis is conducted, accompanied by the creation of future climate scenarios to inspire and guide early design choices. Another fundamental phase is the analysis of vernacular architectures aimed at extracting the principles that characterise them. After collecting the preliminary data, a critical analysis of the results is carried out, leading to the identification of KPIs related to the building's function. In this phase, meta-design hypotheses are also developed through the creation of simplified 2D and 3D concepts, considering the psychrometric chart and the main passive strategies. The design concepts are then evaluated using parametric software, with particular focus on the project's environmental sustainability concerning current and future climate scenarios through a data-driven and performance-based approach. Finally, the selected meta-project is further developed, qualifying the technological and material aspects. The design, environmental, and technological aspects are also refined, if necessary. Design based on regenerative principles lays a solid foundation for both concept development and critical reading of the present and future environmental and sociocultural context. Therefore, it is essential to adopt performance analysis tools integrated into three-dimensional modelling software to have full control over the process and effectively use the

01 | Metodologie per implementare la GAI nell'elaborazione dei *concept* progettuali nella fase *early-stage*, immagine di Arturo Del Razo Montiel
Methodologies to implement GAI in developing design concepts in the early-stage phase, image by Arturo Del Razo Montiel



analyses as a guide in concept development to enhance both quantitative and qualitative performance. In this regard, disruptive technological innovations such as GenAI and LLMs require the study of new methodologies to ensure that design proposals generated through them adhere to the principles of SADE.

GenAI and SADE: a possible methodology

Considering the above, this paper proposes a methodology within the SADE framework that employs tools based on GenAI and LLMs, such as chatbots and text-to-image technologies. Specifically, software like Midjourney V.6 and DALL-E can be used to generate images from textual prompts. At the same time, ChatGPT 4.0, as an LLM, allows for uploading and analysing external files and directly generating images using DALL-E technology. The combination of GenAI and LLM aims to create a correlation between site-specific climate analysis and the generation of concepts from textual prompts, acquir-

02 | *Text-to-image* per SADE: elaborazione del *concept* di architettura sostenibile, immagine di Maurizio Barberio e Arturo Del Razo Montiel
Text-to-image for SADE: development of sustainable architecture concept, image by Maurizio Barberio and Arturo Del Razo Montiel

GenAI e SADE: una possibile metodologia operativa

Alla luce di quanto sopra, il contributo propone una metodologia all'interno del *framework* SADE che impiega tools basati su GenAI e LLMs come chatbot e tecnologie *text-to-image*. Nello specifico, software come *Midjourney* V.6 e DALL-E possono essere impiegati per generare immagini da prompt testuali, mentre *ChatGPT* 4.0 come LLM in quanto consente di caricare e analizzare file esterni e generare direttamente immagini utilizzando la tecnologia DALL-E. La combinazione tra GenAI e LLM è volta a creare una correlazione tra l'analisi climatica *site-specific* e la produzione di concept da prompt testuali acquisendo istruzioni specifiche necessarie ad informare le diverse soluzioni progettuali. In tal modo è possibile fondere dati qualitativi con parametri quantitativi concentrandosi in particolare su strategie passive per le quali le scelte fatte nella fase ultra-iniziale della progettazione sono fondamentali. Per addestrare l'IA su dati climatici specifici è possibile configurare un chatbot personalizzato, basato su *ChatGPT* 4, al fine di leggere e analizzare i dati ambientali dai file climatici, fornire indicazioni per migliorare la resilienza climatica e ottimizzare le prestazioni, creare immagini e concept progettuali *site-specific* a partire da prompt, analizzare le immagini generate dall'IA per ulteriori approfondimenti contestuali. A riguardo, risulta fondamentale categorizzate domande/istruzioni specifiche che un progettista potrebbe porre quando stabilisce una relazione tra il progetto e le condizioni climatiche del sito durante la fase iniziale della progettazione. Le istruzioni testuali fornite dai *chatbot* possono essere trasformate in prompt da utilizzare nel processo *text-to-image*, per elaborare un concept progettuale basato sulle immagini (Fig. 2). Utilizzando la modellazione 3D tradizionale e anche tecnologie avanzate di *Text-to-3D*, possono essere creati 3D volumetrici concettuali per stabilire una corrispondenza tra i suggerimenti testuali e le immagini generate dal software. Il processo metodologico, descritto nella Fig. 3, riassume i passaggi dalla generazione fino alla valutazione dei concept generati tramite GenAI e LLM. Il primo step consiste nella configurazione e training del *chatbot*, seguito dall'analisi dei file climatici (*EnergyPlus* EPW) per i siti pilota, sia attuali che proiettati per gli anni 2030, 2050 e 2080. Questo passaggio è essenziale per identificare le potenziali sfide climatiche e valutare l'impatto sulle prestazioni dell'edificio. Successivamente, si procede con la valutazione del sito progettuale e del contesto urbano attraverso un'analisi delle immagini, che permette di estrarre informazioni specifiche del sito, fondamentali per lo sviluppo del concept progettuale. A questo punto, vengono definiti i criteri di progettazione sostenibile in relazione ai dati climatici e al contesto urbano, considerando fattori come l'orientamento ottimale, il rapporto *glazing-to-wall* (WWR), la forma dell'edificio, i dispositivi di ombreggiatura, *nature-based solutions* e l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili. In seguito, si integrano le caratteristiche geometriche e le strategie

02 |

Text-to-image - Midjourney

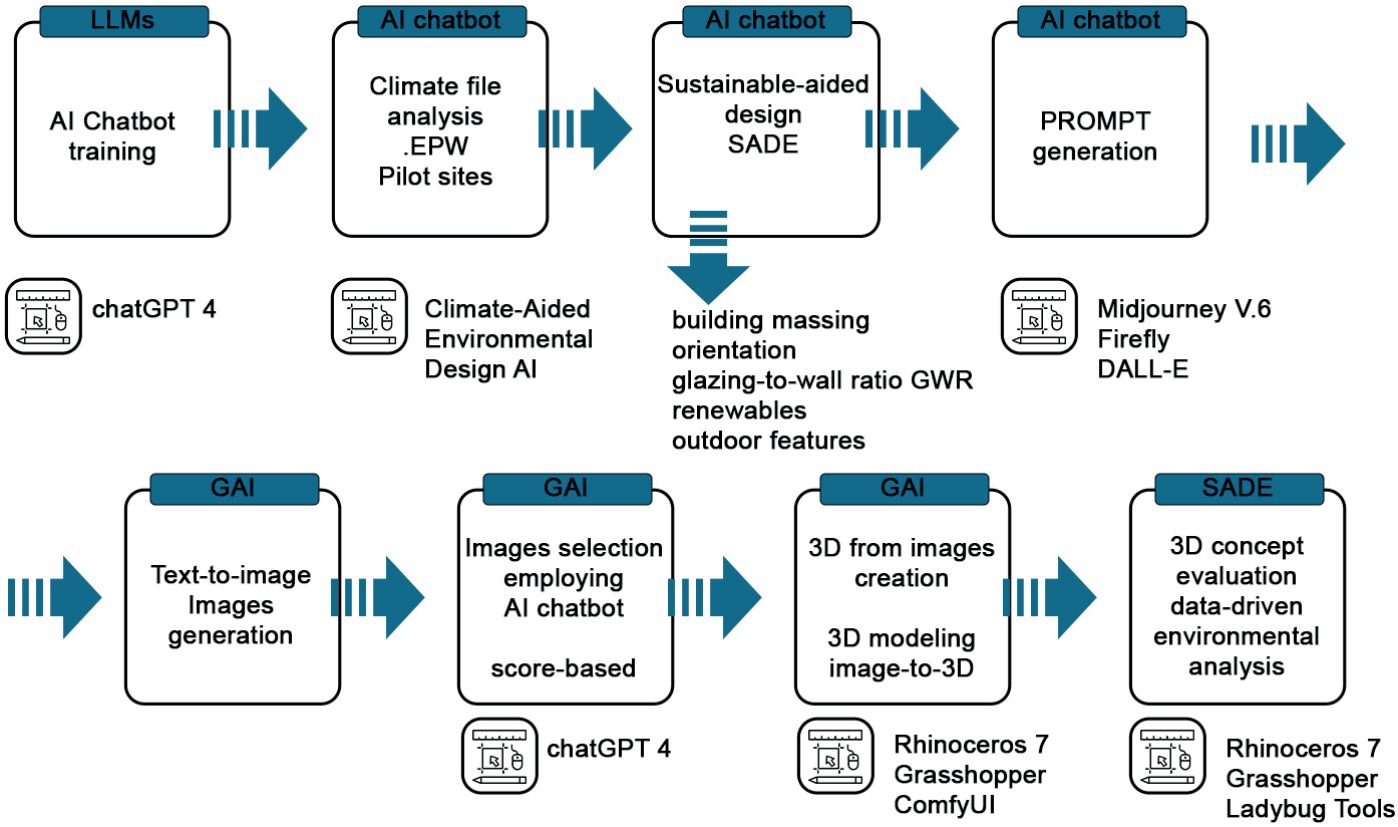
Prompt: "Create a modern, sustainable residential building for the Eiranpuisto site in **Helsinki**.
The design should include large south-facing windows with shading devices, moderate north-facing windows with high-performance glazing, and minimal east and west-facing windows with internal and vertical shading devices. Incorporate green roofs, green walls, courtyards, solar panels, and permeable surfaces.
The building should be oriented along a north-south axis and feature extensive landscaping."

Text-to-image - Midjourney

Prompt:"Create a sustainable residential building for a triangular plot in **Athens**, Greece. The building should blend traditional Athenian architecture with modern sustainability practices. Optimize the building's shape for the plot and ensure it maximizes natural light and ventilation. Use local materials like stone, wood, and clay for the facades. Balance the windows-to-wall ratio to enhance energy efficiency. Integrate shading devices like deep overhangs, pergolas, and shutters to protect against the sun. Include extensive green roofs, vertical gardens, and terraces with Mediterranean plants to provide insulation and enhance biodiversity. Orient the building to optimize sunlight exposure and natural cooling. Design for natural ventilation with operable windows and ventilation shafts. Adapt the design to future climate scenarios to ensure long-term resilience and sustainability."

03 | GenAI e SADE, *workflow* metodologico. Dall'elaborazione del *concept* informato dai dati climatici attraverso *text-to-image* alla valutazione della sostenibilità ambientale attraverso un processo *data-driven*, immagine di Angelo Figliola

GenAI and SADE, methodological workflow. From the development of the concept informed by climate data through text-to-image to the evaluation of environmental sustainability through a data-driven process, image by Angelo Figliola



passive nel progetto. I dati raccolti e le analisi svolte vengono utilizzati per generare prompt testuali da impiegare nella creazione di immagini in *Midjourney* e DALL-E. Ogni immagine generata da prompt viene poi valutata in base ai criteri di progettazione sostenibile precedentemente definiti, assegnando un punteggio su una scala da 1 a 10 per ciascun criterio. Le immagini migliori, selezionate in base allo score ottenuto, vengono trasformate in modelli 3D utilizzando tecniche di modellazione convenzionali e avanzate come l'*image-to-3D*. I modelli 3D vengono inseriti nel contesto e ulteriormente valutati dal chatbot AI per selezionare le due migliori opzioni, che verranno analizzate attraverso un processo *data-driven* (Fig. 4). Infine, si ese-

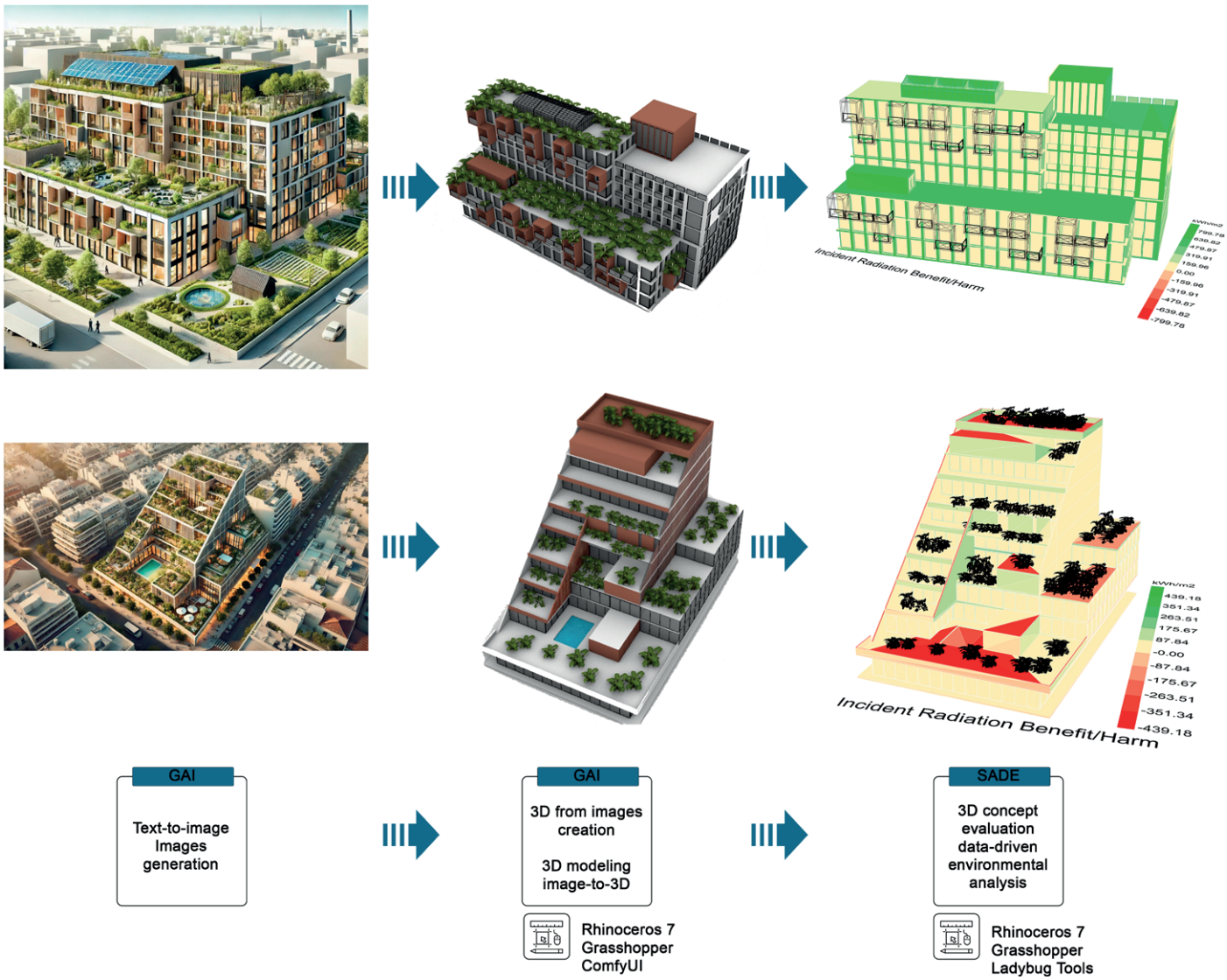
ing the specific instructions needed to inform various design solutions. It is thus possible to merge qualitative data with quantitative parameters, focusing particularly on passive strategies for which choices made in the ultra-early design phase are crucial. To train AI on specific climate data, a custom chatbot, based on ChatGPT 4, can be configured to read and analyse environmental data from EPW files, provide guidance on improving climate resilience, optimise performance, create site-specific images and design concepts from prompts, and analyse AI-generated images for further contextual insights. In this regard, it is essential to categorise specific questions/instructions that a designer might ask when establishing a relationship between the project and the site's climate conditions during the early design phase. The textual instructions provided by chatbots can be transformed into prompts to be used in the text-to-image process, elaborating a design concept based on the images (Fig. 2). Using traditional 3D modelling and advanced Text-to-3D technologies, volumetric conceptual 3D models can be created to match the textual suggestions, and the images generated by the software. The methodological process, described in Fig. 3, summarises the steps from concept generation to the evaluation of concepts created using GenAI and LLM. The first step involves configuring and training the chatbot, followed by the analysis of climate files (EnergyPlus EPW) for pilot sites, both current and projected for the years 2030, 2050, and 2080. This step is essential to identify potential climate challenges and assess their impact on building performance. Next, the design site and urban context are evaluated through image analysis, allowing for the extraction of site-specific information that is crucial for concept development. At this stage, sustainable design criteria are defined about the climate data and urban context, considering factors such as optimal orientation, glazing-to-wall ratio (WWR), building shape, shading devices, nature-based solutions, and the integration of renewable energy sources. Subsequently, geometric features and passive strategies are integrated into the design. The collected data and analyses are used to generate textual prompts to be employed in creating images in Midjourney and DALL-E. Each image generated from prompts is then evaluated based on the previously defined sustainable design criteria, assigning a score on a scale of 1 to 10 for each criterion. The best images, selected based on the score obtained, are transformed into 3D models using conventional modelling techniques and advanced methods such as image-to-3D. The 3D models are placed in context and further evaluated by the AI chatbot to select the two best options, which will be analysed through a data-driven process (Fig. 4). Finally, environmental analysis is conducted using intuitive benchmarks, such as beneficial/harmful solar radiation, to further refine the selection of the concepts.

Conclusions

The integration of GenAI in architectural and environmental design, with particular emphasis on text-to-image technologies, is redefining how we conceive and develop built spaces. While these tools open new creative perspectives, they raise important questions regarding their effectiveness in providing adequate responses to issues such as decarbonisation and

04 | GenAI e SADE: valutazione del concept progettuale attraverso tecniche di *image-to-3D* per l'integrazione del contesto urbano e analisi ambientali *performance-based*, immagine di Angelo Figliola

GenAI and SADE: evaluation of the design concept through image-to-3D techniques for the integration of the urban context and performance-based environmental analysis, image by Angelo Figliola



environmental design. The adoption of GenAI in this field, starting with the formation of specialised chatbots, is still in its initial stages, with substantial challenges to overcome. One of the critical issues concerns GenAI's ability to fully comprehend the historical, cultural, environmental, and material context that characterises each urban environment. Architectural and environmental design are not limited to creating aesthetically pleasing forms but require a deep understanding of architectural heritage, local building traditions, and sociocultural dynamics that shape a place's identity. Despite advancements in GenAI technology, fundamental limitations persist in generating 3D images that can provide convincing responses within the SADE framework. To overcome these weaknesses, new methodologies, such as the one proposed by the authors of this paper, are being developed to combine GenAI and SADE into a single process. The use of chatbots trained not only on site-specific climate data but also on detailed information related to local architectural heritage aims to integrate established environmental design methodologies into text-to-image generative processes. Hence, the challenge is to ensure that GenAI can both generate interesting concepts and propose solutions that are environmentally consistent, energy-efficient, and harmoniously integrated with the surrounding environment and existing architectural context. Looking to the future, the development of self-analysis procedures for projects generated by GenAI processes could lead to self-learning algorithms capable of assimilating and interpreting the unique characteristics of various urban contexts. Integrating GenAI into SADE processes requires a careful and scientifically robust approach, capable of balancing the creative possibilities offered by AI with the rigorous requirements of sustainable architecture, with solutions that can enhance the peculiarities of each specific local context. In conclusion, the objective remains to ensure that technological advancements make a significant contribution to creating more sustainable, efficient, and culturally relevant built environments. This process must generate a holistic framework that embraces various areas of knowledge in architectural and urban design, balancing technological innovation with human expertise, sustainability principles, and respect for the cultural and material heritage of places. The integration of AI in context-sensitive architectural design is a promising frontier, but it requires a balanced approach that considers both the potential and the ethical, practical, and cultural challenges involved. A great responsibility is entrusted to universities, which need to face the dual challenge of integrating GenAI into sustainable design practices through research, and of developing students' critical thinking to effectively apply such innovations in addressing contemporary architectural challenges.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are designated as first and co-first authors in the preparation of the article: Conceptualisation, A.F. and M.B.; methodology, A.F. and M.B.; investigation, A.F. and M.B; writing, review and editing, A.F. and M.B.

gue un'analisi ambientale utilizzando benchmark intuitivi, come la radiazione solare *benefit / harmful*, per affinare ulteriormente la selezione dei concept.

Conclusioni

L'integrazione della GenAI nella progettazione architettonica e ambientale, con particolare enfasi sulle tecnologie *text-to-image*, sta ridefinendo il modo in cui concepiamo e sviluppiamo lo spazio costruito. Questi strumenti, pur aprendo nuove prospettive creative, sollevano importanti questioni in base alla loro efficacia nel fornire risposte adeguate in relazione a temi come la decarbonizzazione e la progettazione ambientale. L'adozione della GenAI in questo campo, a partire dalla formazione di chatbot specializzati, si trova ancora nelle fasi iniziali, con sfide sostanziali da superare. Una delle criticità riguarda la capacità della GenAI di comprendere appieno il contesto storico, culturale, ambientale e materiale che caratterizza ogni ambiente urbano. La progettazione architettonica e ambientale non si limitano alla creazione di forme esteticamente gradevoli, ma richiedono una profonda comprensione del patrimonio architettonico, delle tradizioni costruttive locali e delle dinamiche socioculturali che plasmano l'identità di un luogo. Nonostante i progressi nella tecnologia della GenAI, persistono limitazioni fondamentali nella generazione di immagini 3D che possano fornire risposte convincenti nell'ambito della SADE. Per superare queste debolezze, nuove metodologie come quella proposta dagli autori del presente contributo sono in fase di sviluppo, con l'obiettivo di coniugare GenAI e SADE in unico processo. L'uso di chatbot addestrati non solo su dati climatici specifici del sito, ma anche su informazioni dettagliate relative al patrimonio architettonico locale, mira a integrare le metodologie consolidate di progettazione ambientale nei processi generativi di tipo text-to-image. La sfida consiste dunque nel garantire che la GenAI possa non solo generare concept interessanti, ma anche proporre soluzioni che siano consistenti dal punto di vista ambientale, efficienti dal punto di vista energetico, e che si integrino armoniosamente con l'ambiente circostante e il contesto architettonico esistente. Guardando al futuro, lo sviluppo di procedure di autoanalisi per progetti generati da processi di GenAI potrebbero portare ad algoritmi di autoapprendimento capaci di assimilare e interpretare le caratteristiche uniche di diversi contesti urbani. L'integrazione della GenAI nei processi SADE richiede un approccio attento e solido scientificamente, in grado di bilanciare le possibilità creative offerte dall'AI con i rigorosi requisiti dell'architettura sostenibile, con soluzioni che possano esaltare le peculiarità di ogni specifico contesto locale. In conclusione, l'obiettivo rimane quello di garantire che i progressi tecnologici apportino un contributo significativo alla creazione di ambienti costruiti più sostenibili, efficienti e culturalmente rilevanti. Questo processo deve generare un quadro olistico che abbracci diverse aree di conoscenza nell'ambito della progettazione architettonica e urbana, bilanciando l'innovazione tecnologica con l'expertise umana, i principi di sostenibilità e il rispetto per il patrimonio culturale e materiale dei luoghi. L'integrazione dell'IA nella progettazione architettonica *site-specific* rappresenta una frontiera promettente, ma richiede un approccio equilibrato che consideri tanto le potenzialità quanto le sfide etiche, pratiche e culturali che essa comporta. Una grande responsabilità è affidata agli istituti universitari, che hanno al contempo il compito di portare avanti ricerche significative volte ad incorporare la GenAI nelle prassi di progettazione esistenti e di guidare gli allievi nello sviluppo modo di pensare critico, in grado di governare le innovazioni tecnologiche al fine di permettere alla disciplina architettonica di fornire risposte significative alle sfide della società contemporanea.

ATTRIBUZIONE E RICONOSCIMENTI

Gli autori si configurano come primo e co-primo nella redazione dell'articolo: Concettualizzazione, A.F. e M.B.; metodologia, A.F. e M.B.; indagine, A.F. e M.B.; scrittura, revisione ed editing, A.F. e M.B.

REFERENCES

Choi, S. and Yoon, S. (2024), "GPT-based data-driven urban building energy modelling (GPT-UBEM): Concept, methodology, and case studies", *Energy and Buildings*, Vol. 325, p. 115042. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115042 (Accessed on 18/11/2024).

del Campo, M. (2022), *Neural Architecture: Design and Artificial Intelligence*, Applied Research and Design Publishing.

del Campo, M. and Leach, N. (2022), *Machine Hallucinations: Architecture and Artificial Intelligence*, John Wiley & Sons. Available at: https://onlinelibrary.wiley.com/toc/15542769/2022/92/3 (Accessed on 06/09/2024).

Ferrante, T. and Romagnoli, F. (2023), "Support or automation in decision-making: the role of artificial intelligence for the project", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 25, pp. 68-77. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-13713 (Accessed on 06/09/2024).

Galanos, T. (2019), "Machine-Learned Regenerative Design", in Naboni, E. and Havinga, L. (Eds.), *Regenerative Design in Digital Practice*, Eurac Research, Bolzano, Italy, pp. 95-99. Available at: https://buildup.ec.europa.eu/sites/default/files/content/regenerative_design_in_digital_practice_small.pdf (Accessed on 06/09/2024).

Guarini, M.R., Sica, F., Segura, A. (2024), "Artificial Intelligence (AI) Integration in Urban Decision-Making Processes: Convergence and Divergence with the Multi-Criteria Analysis (MCA)", *Information*, Vol. 15, n. 11, pp. 678. Available at: https://doi.org/10.3390/info15110678 (Accessed on 18/11/2024).

Karimi, H., Adibhesami, M.A., Hoseinzadeh, S., Salehi, A., Groppi, D. and Astiaso Garcia, D. (2024), "Harnessing Deep Learning and Reinforcement Learning Synergy as a Form of Strategic Energy Optimization in Architectural Design: A Case Study in Famagusta, North Cyprus", *Buildings*, Vol.

14, n. 5, p. 1342. Available at: https://doi.org/10.3390/buildings14051342 (Accessed on 06/09/2024).

Płoszaj-Mazurek, M., Rynska, E. (2024), "Artificial Intelligence and Digital Tools for Assisting Low-Carbon Architectural Design: Merging the Use of Machine Learning, Large Language Models, and Building Information Modeling for Life Cycle Assessment Tool Development", *Energies*, Vol. 17, n.12, p. 2997. Available at: https://doi.org/10.3390/en17122997 (Accessed on 06/09/2024).

Rane, N. (2023), "ChatGPT and similar generative artificial intelligence (AI) for building and construction industry: Contribution, opportunities and challenges of large language models for Industry 4.0, Industry 5.0, and Society 5.0", *SSRN*. Available at: 10.2139/ssrn.4603221 (Accessed on 06/09/2024).

Vissers-Similon, E., Dounas, T. and De Walsche, J. (2024), "Classification of artificial intelligence techniques for early architectural design stages", *International Journal of Architectural Computing*. Available at: https://doi.org/10.1177/14780771241260 (Accessed on 06/09/2024).

Yahaya, H.L., Vivek, S.M., Shehu, U.M. and Auwal, A.M. (2022), "Carbon footprint management: A review of construction industry", *Clean. Eng. Technol.*, Vol. 9, p. 100531. Available at: https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100531 (Accessed on 06/09/2024).

Retrofitting tecnologico per distretti *carbon neutral*: nuovi approcci di *bioclimatic design*

Domenico D'Olimpio, https://orcid.org/ 0000-0001-9760-5548 domenico.dolimpio@uniroma1.it
Valeria Cecafosso, https://orcid.org/0000-0003-3404-1321 valeria.cecafosso@uniroma1.it
Gaia Turchetti, https://orcid.org/0000-0001-6746-0544 gaia.turchetti@uniroma1.it
Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

Abstract. Il patrimonio edilizio italiano affronta sfide di inefficienza energetica, con il 70% degli edifici prossimi alla fine del ciclo vitale. Servono interventi urgenti di riqualificazione e *retrofitting* tecnologico per migliorarne le prestazioni. Normative come l'EPBD IV puntano a trasformare gli edifici esistenti in NZEB entro il 2050. La ricerca indaga sistemi e tecnologie innovative, ispirandosi al modello "Energiesprong", per interventi di deep retrofit. Il progetto pilota nel quartiere "Le Terrazze" a Castelnuovo di Porto dimostra l'efficacia delle soluzioni proposte, prevedendo il raggiungimento di significativi miglioramenti energetici e ambientali attraverso una importante riduzione delle lavorazioni in opera e secondo tempistiche realizzative drasticamente ridotte.

Parole chiave: *Bioclimatic design; Climate change mitigation; Decarbonising Buildings in Cities; Off-site retrofitting technology.*

Introduzione

L'attenzione rivolta al settore edilizio, responsabile di quasi il 40% dei consumi energetici e delle emissioni di CO_2 eq, si è spostata nel tempo dal singolo edificio a gruppi di edifici, quindi a interi quartieri, nonché da un approccio "energia quasi zero" a concetti più rigorosi di "energia positiva" e "neutralità carbonica". Tali obiettivi possono essere perseguiti ricercando un *Whole Life Carbon* ovvero una contabilizzazione delle emissioni di CO_2 equivalenti nel ciclo di vita di un manufatto. Ciò mira alla valutazione sia delle emissioni di *Embodied Carbon* sia di quelle associate all'uso di un edificio (*Operational Carbon*) e determinate in funzione dei fabbisogni energetici (prevalentemente per la climatizzazione, l'illuminazione e l'acqua calda sanitaria). Mancano, tuttavia, solide basi comuni e possono identificarsi lacune nelle definizioni e nei quadri politici necessari a governare appieno questi processi. (Direttiva 2024/1275 – EPBD IV; Causone *et al*., 2021; Satola *et al*., 2021; Lützkendorf *et al*., 2020).

Il patrimonio edilizio esistente in Italia presenta condizioni spesso critiche di conservazione, inefficienza e incompatibilità ambientale. Tali criticità, strettamente legate al metabolismo edilizio e agli elevati consumi energetici, contribuiscono in maniera significativa alle emissioni di gas climalteranti e all'inquinamento atmosferico. Attualmente circa il 70% del patrimonio edilizio italiano si avvicina alla fine del proprio ciclo di vita funzionale, rendendo urgente un intervento sistematico per ridurre la vulnerabilità sismica, migliorare l'efficienza energetica e affrontare le sfide poste dai cambiamenti climatici. La necessità di operare in questa direzione è confermata dalla Direttiva UE EPBD IV (2024/1275) che pone l'obiettivo di decarbonizzazione del parco edilizio entro il 2050 attraverso interventi mirati di ristrutturazione profonda (*deep retrofit*).
Il deep retrofit non si limita a ridurre il consumo energetico degli edifici esistenti ma promuove un miglioramento complessivo delle loro prestazioni, comprendendo aspetti come il comfort abitativo, la gestione sostenibile delle risorse e l'ottimizzazione dell'impatto ambientale (Zivhov and Rudiger, 2020). Infatti, la EPBD IV sottolinea che per raggiungere la prospettiva al 2050 di un parco immobiliare decarbonizzato sia necessario andare oltre le emissioni operative di gas a effetto serra sulle quali attualmente si concentra l'attenzione, ovvero sia necessario leggere la *deep renovation* come una ristrutturazione che trasforma gli edifici in organismi edilizi a emissioni zero.
La necessità di sottolineare le giuste spinte verso un futuro prossimo ma anche di enfatizzare le esigenze cogenti è determinata dalla considerazione che, a fronte dell'alto tasso di inefficienza

Technological retrofitting for carbon-neutral districts: New approaches in bioclimatic design

Abstract. The Italian building stock faces significant challenges in energy inefficiency, with 70% of buildings nearing the end of their life cycle. Urgent interventions are required for refurbishment and technological retrofitting to enhance performance. Regulations such as the EPBD IV aim to transform existing buildings into NZEBs by 2050. This research explores innovative systems and technologies inspired by the "Energiesprong" model to enable deep retrofit interventions. The pilot project in the "Le Terrazze" district of Castelnuovo di Porto demonstrates the effectiveness of the proposed solutions, achieving substantial energy and environmental improvements while significantly reducing on-site construction activities and drastically shortening implementation timelines.

Keywords: Bioclimatic design; Climate change mitigation; Decarbonising Buildings in Cities; Off-site retrofitting technology.

Introduction

The existing building stock, with the exception of new constructions from the past two decades – particularly those built after Legislative Decree 192 of 2005, which was the first in Italy to specifically regulate the physical and technical characteristics of building envelopes (e.g., the thermal transmittance of walls, roofs, windows, etc.), largely presents inadequate and, in some respects, alarming conditions. These concerns primarily relate to the conservation status, environmental incompatibility, and the emissions of pollutants and climate-altering substances produced by the building's energy consumption and metabolic processes, as well as its impact on indoor comfort.
Attention to the building sector, which accounts for nearly 40% of energy consumption and CO_2 equivalent emissions, has shifted over time from a focus on individual buildings to clusters of buildings and entire neighbourhoods. This evolution has moved beyond "nearly zero energy" approaches to embrace more ambitious concepts such as "positive energy" and "carbon neutrality." Achieving these goals requires adopting a Whole Life Carbon perspective, which considers both Embodied Carbon emissions and Operational Carbon emissions associated with building use (primarily for heating, cooling, lighting, and hot water). However, the sector continues to lack consistent foundational methodologies, and gaps remain in definitions and policy frameworks to fully address these processes (Directive 2024/1275 – EPBD IV; Causone *et al*., 2021; Satola *et al*., 2021; Lützkendorf *et al*., 2020). The existing Italian building stock frequently displays critical issues related

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16659

del parco edilizio, il tasso ponderato annuo di ristrutturazione energetica è intorno all'1%, largamente inadeguato rispetto alle esigenze, e che presumibilmente l'85-95% degli edifici attualmente esistenti sarà ancora presente nel 2050. Queste problematiche strutturali si intrecciano con un contesto economico caratterizzato da una progressiva contrazione degli investimenti nel settore delle costruzioni, accentuando la necessità di implementare strategie normative e operative per incentivare la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, verso il miglioramento delle prestazioni energetiche e ambientali, l'innalzamento della sicurezza sismica e fruitiva, e l'adeguamento a standard architettonici moderni.

Nell'ambito delle strategie di rigenerazione urbana le operazioni di riqualificazione e di recupero in chiave bioecologica e di efficienza energetico-ambientale del patrimonio edilizio esistente sono di fondamentale importanza per il nostro sistema ambientale, di livello biofisico, microclimatico e antropico da conseguire con soluzioni tecnologiche innovative. La ricerca deve interfacciarsi con la complessità degli interventi sul patrimonio edilizio, in termini di azioni programmatorie e strategiche nonché di confronto con le dinamiche politiche, sociali ed economiche. Diventa pertanto imprescindibile «attribuire valore ai processi di innovazione tecnologica, veicolati secondo una serie di driver (come la messa in sicurezza, l'efficienza energetica, la conversione *green*, ecc.), favorendo, ad esempio tramite requisiti cogenti e/o premiali, l'offerta di prodotti e servizi ad alto valore aggiunto in termini di prestazioni eco-compatibili, ottimizzazione dell'uso delle risorse e riduzione degli sprechi» (Tucci, 2018).

L'applicazione di "tecnologie riconfiguranti" (D'Olimpio, 2023) ovvero di tecnologie attraverso la cui applicazione ed integrazione all'edificio, si va a modificare la sua configurazione a differenti livelli: architettonico, fisico-costitutivo, impiantistico, rappresenta un ulteriore passo avanti nella riqualificazione degli edifici esistenti, in quanto vengono superati i limiti delle tecniche tradizionali con soluzioni eco-compatibili e innovative mirando a una trasformazione integrale degli edifici coinvolgendo gli aspetti architettonici, strutturali e impiantistici.

Questo approccio olistico permette di rispondere a obiettivi multidimensionali, come l'efficienza energetica, la riduzione dell'impatto ambientale e il miglioramento del comfort abitativo. La loro applicazione si rivela particolarmente efficace nei contesti edilizi caratterizzati da scarsi livelli prestazionali energetico-ambientali, dove i benefici del deep retrofit sono maggiormente evidenti.

Strategie per il retrofitting sostenibile

Tra gli approcci più efficaci per il deep retrofit si distingue il modello Energiesprong sviluppato nei Paesi Bassi. Esso prevede una gestione industrializzata del processo di riqualificazione attraverso soluzioni prefabbricate *off-site*. Elementi come pannelli prefabbricati completi di serramenti e impianti vengono realizzati in stabilimenti, trasportati in cantiere e installati rapidamente, consentendo tempi di intervento ridotti e un miglioramento drastico delle prestazioni energetiche senza interrompere l'uso abitativo dell'edificio. Questo modello ha già permesso la riqualificazione di numerose abitazioni nei Paesi Bassi e si sta diffondendo in Germania, Francia e Regno Unito, con risultati positivi sia in termini economici che ambientali.

Il processo di prefabbricazione off-site offre notevoli vantaggi: ottimizza i tempi di produzione e installazione e consente si-

to conservation, inefficiency, and environmental incompatibility. These problems, which are intrinsically linked to the metabolic processes of buildings and high energy consumption, significantly contribute to greenhouse gas emissions and air pollution. Approximately 70% of Italy's building stock is nearing the end of its functional life cycle, underscoring the urgent need for systematic interventions to reduce seismic vulnerability, enhance energy efficiency, and address climate change challenges. This imperative is reinforced by the EPBD IV Directive (2024/1275), which seeks to decarbonise the building stock by 2050 through targeted deep retrofit interventions.

Deep retrofitting goes beyond merely reducing energy consumption in existing buildings. It facilitates comprehensive improvements in performance. These include enhanced living comfort, sustainable resource management, and minimised environmental impact (Zivhov and Rudiger, 2020). The EPBD IV emphasises that achieving a decarbonised building stock by 2050 requires addressing not only operational greenhouse gas emissions but also reimagining deep renovation as a transformative process, converting buildings into zero-emission entities.

This urgency is further compounded by the sector's inefficiency, with an annual weighted rate of energy renovation at approximately 1%, a figure grossly insufficient to meet current objectives. Moreover, it is estimated that 85-95% of existing buildings will remain in use by 2050. Structural challenges are exacerbated by an economic context of declining investment in the construction sector, highlighting the critical need for regulatory and operational strategies to incentivise the rehabilitation of existing building stock. These strategies aim to improve energy and environmental performance, enhance seismic safety and usability, and align structures with modern architectural standards.

Urban regeneration strategies prioritise bioecological and energy-efficient rehabilitation of the existing building stock as essential to preserving environmental, biophysical, microclimatic, and human systems. These objectives can be achieved through innovative technological solutions. Research must address the complexity of interventions within the built environment, encompassing programmatic and strategic actions as well as interactions with political, social, and economic dynamics. This necessity underscores the importance of fostering technological innovation processes driven by imperatives such as safety, energy efficiency, and green conversion. Such efforts can promote the development and adoption of high value products and services characterised by eco-compatibility, resource optimisation, and waste reduction (Tucci, 2018).

The application of "reconfiguring technologies" (D'Olimpio, 2023) that, through their implementation and integration into a building, modify its configuration on various levels, including architectural, physical-structural, and systems marks a significant advancement in the refurbishment of existing buildings. These technologies transcend the limitations of traditional methods by offering eco-compatible and innovative solutions aimed at achieving a comprehensive transformation of buildings, addressing architectural, structural, and system-related aspects.

This holistic approach enables the attainment of multidimensional ob-

gnificativi risparmi sia dal punto di vista economico sia in termini di emissioni di CO_2 (Guo *et al*., 2023; Ruoyu *et al*., 2020). Si stima una riduzione fino al 30% dei costi del progetto grazie alla tecnologia digitale e alla produzione off-site; una riduzione del 40% dei ritardi del progetto tramite pianificazione integrata e in tempo reale; una riduzione dell'80% dei rifiuti edili e delle rilavorazioni, con benefici diretti anche in termini di sostenibilità ambientale; un aumento fino al 25% delle esportazioni di prodotti edili e servizi (Building 4.0 CRC, 2024). La produzione prefabbricata permette di ridurre significativamente gli sprechi dei materiali rispetto ai metodi tradizionali grazie al controllo delle operazioni in ambienti industrializzati e all'ottimizzazione dell'uso delle risorse. Inoltre, i protocolli di interoperabilità e la condivisione di dati tra i vari attori del processo consentono una maggiore efficienza operativa e una riduzione degli errori.

Il contenimento delle emissioni di CO_2 lungo il ciclo di vita dell'edificio è una sfida fondamentale per il settore edilizio. Una delle prove più promettenti è il riuso degli elementi tecnologici esistenti, con particolare attenzione all'involucro edilizio il quale viene lasciato sostanzialmente inalterato e migliorato attraverso l'addizione di un secondo involucro realizzato *off-site* per aumentarne l'efficienza energetica. Questo approccio consente altresì una riduzione sostanziale delle emissioni di CO_2 legate alla fase costruttiva, in quanto limita i trasporti dei materiali, la produzione di rifiuti e le rilavorazioni in cantiere. Il modello potrebbe favorire la transizione verso un'edilizia più sostenibile contribuendo al raggiungimento degli obiettivi climatici europei e generando al contempo nuove opportunità economiche per il settore.

Articolazione metodologica della ricerca

La metodologia della ricerca si articola in quattro fasi principali: analisi, sviluppo di un modello, sperimentazione su un caso pilota, valutazione critica dei risultati.

1. Analisi: Questa fase è svolta su due fronti. Da un lato è stata condotta un'analisi delle principali tecnologie, sistemi e componenti che rientrano nelle logiche di *Offsite, Industrialized Building* e *Modern Method Construction* (MMC). Dall'altro è stato condotto un esame critico delle tecnologie bioclimatiche responsive, adatte e/o adattabili principalmente al concetto di *off-site*. Questo esame è stato svolto anche alla luce della necessità di minimizzare il consumo di materiali e incrementare l'uso di materiali riciclati come indicato dai Criteri Ambientali Minimi (CAM). Sono stati analizzati progetti esemplari di retrofitting energetico che integrano il design bioclimatico e l'uso di fonti rinnovabili all'interno di processi avanzati di prefabbricazione leggera valutando i risultati in termini di riduzione dei consumi energetici e decarbonizzazione.
2. Sviluppo di un modello: Sulla base dell'analisi del quadro normativo e delle sperimentazioni in corso è stato sviluppato un modello funzionale alle specifiche esigenze climatiche di contesto. Tale modello mira a integrare le soluzioni più efficaci adattate alle condizioni del territorio. Si tratta di un approccio metodologico che include un quadro dettagliato delle tecnologie e delle pratiche più promettenti per la neutralità climatica insieme a raccomandazioni operative per i progettisti.

L'analisi ha riguardato sia il sistema tridimensionale dell'involucro sia i singoli componenti e materiali, con l'obiettivo di:

jectives, such as energy efficiency, reduced environmental impact, and improved living comfort. Their application is particularly effective in building contexts featuring low energy and environmental performance, where the benefits of deep retrofit interventions are most pronounced.

Strategies for sustainable retrofitting

One of the most effective approaches to deep retrofitting is the Energiesprong model, developed in The Netherlands. This method employs an industrialised approach to retrofitting using off-site prefabricated solutions. Components such as prefabricated panels with integrated windows and systems are manufactured in factories, transported to the site, and swiftly installed, significantly reducing intervention times and drastically improving energy performance without disrupting building occupancy. The model has successfully retrofitted numerous homes in The Netherlands, and is now being adopted in Germany, France, and the United Kingdom, delivering positive economic and environmental outcomes.

The off-site prefabrication process offers substantial advantages, including optimised production and installation times, as well as significant cost and CO_2 emission reductions (Guo *et al*., 2023; Ruoyu *et al*., 2020). Digital technologies and off-site production methods can decrease project costs by up to 30%, reduce project delays by 40% through real-time integrated planning, and cut construction waste and rework by 80%, thereby contributing to environmental sustainability (Building 4.0 CRC, 2024). Furthermore, prefabrication minimises material waste through controlled operations in industrialised environments and resource optimisation. Enhanced interoperability protocols and data sharing among process stakeholders improve operational efficiency and reduce errors.

Reducing CO_2 emissions throughout a building's life cycle remains a critical challenge for the construction sector. Promising strategies include reusing existing technological elements, particularly building envelopes, which can be preserved and enhanced through the addition of off-site prefabricated secondary envelopes to boost energy efficiency. This approach significantly lowers CO_2 emissions associated with construction by reducing material transportation, waste generation, and on-site rework. Such a model could drive the transition to sustainable construction, aligning with European climate goals while simultaneously creating new economic opportunities for the sector.

Research methodology

The research methodology is structured into four main phases: analysis, model development, experimentation on a pilot case, and critical evaluation of the results.

1. Analysis. This phase operates on two levels. First, an analysis was conducted to examine key technologies, systems, and components aligned with the principles of Offsite, Industrialised Building, and Modern Methods of Construction (MMC). Second, a critical assessment of responsive bioclimatic technologies was undertaken, focusing on their suitability and adaptability for off-site applications. This assessment emphasised minimising material consumption and maximising the use of recycled ma-

– massimizzare l'autonomia energetica degli edifici rigenerati nella produzione e nella gestione dei flussi di risorse;
– ottimizzare le prestazioni NZEB e *Positive Energy* sia per i singoli edifici sia per interi comparti edilizio e urbano;
– ridurre i costi e i tempi di realizzazione, inserendo il processo all'interno di una logica circolare;
– definire soluzioni accessibili e replicabili che facilitino la creazione di nuove comunità energetiche.

Tali obiettivi, grazie all'adozione di una elevata prefabbricazione, possono essere raggiunti in tempi significativamente ridotti rispetto agli interventi di *retrofitting* tradizionali, minimizzando l'impatto sugli abitanti. Fin dalla fase progettuale si è tenuto conto delle logiche di disassemblaggio e fine vita di sistemi, componenti e materiali.

3. Sperimentazione su un caso pilota: con questa fase è stato implementato un caso pilota a Castelnuovo di Porto utilizzando strumenti per la verifica dell'efficienza energetica e della rapidità d'intervento. Tale intervento è stato progettato per valutare la possibile applicabilità di questi scenari nel contesto di riferimento con lo scopo di massimizzare i risultati energetici e strutturali e guardando all'intero ciclo di vita dell'edificio.
4. Sintesi e valutazione critica: questa fase finale, in corso di sviluppo, riguarda una sintesi dei risultati ottenuti e un confronto con le best practice internazionali con l'obiettivo di identificare i punti di forza e i limiti delle diverse strategie adottate. Gli sviluppi futuri della ricerca saranno orientati a perfezionare queste soluzioni e a individuare nuove opportunità per il miglioramento dei processi di retrofitting e decarbonizzazione.

Progetto pilota il quartiere "Le Terrazze"

Il quartiere "Le Terrazze", situato a 10 km dal centro di Castelnuovo di Porto nella città metropolitana di Roma, è una interessante realizzazione nell'ambito dell'edilizia residenziale pubblica. Esso é costituito da edifici residenziali realizzati con tipologie edilizie a schiera e in linea (Fig. 1) e organizzati per specifici comparti edilizi (definiti settori nei documenti di concessione edilizia):

– Settore A, edificio in linea;
– Settore B, scuola materna;
– Settore C, residenziale:
– C1, edificio a schiera con 11 unità abitative;
– C2, C3, C4, C5, C6, C7: 22 edifici in linea per complessive 66 unità abitative;
– C8, C9: 13 edifici in linea per complessive 52 unità abitative;
– Settore D, 3 edifici in linea per complessive 36 unità abitative;
– Settore E, 3 edifici in linea per complessive 36 unità abitative.

Il quartiere è caratterizzato da giardini e spazi pubblici, che favoriscono una certa vivibilità malgrado le diffuse condizioni di degrado del comparto edilizio (Fig. 2). In particolare, il verde pubblico occupa il 50% della superficie totale dell'area mentre il restante 50% del suolo risulta edificato (30%) e utilizzato per strade e sistemi di connessione (20%).

La sperimentazione progettuale, ispirata all'approccio "Energisprong", ha riguardato in particolare l'edificio C1 che consta complessivamente di 11 unità abitative a schiera disposte ciascuna su due livelli. Preliminarmente è stata effettuata una ap-

terials, as specified by the Minimum Environmental Criteria (CAM). Exemplary energy retrofitting projects were analysed to evaluate the integration of bioclimatic design and renewable energy within advanced lightweight prefabrication processes. These projects were assessed based on their effectiveness in reducing energy consumption and promoting decarbonisation.

2. Model Development. Based on the analysis of the regulatory framework and ongoing experiments, a model was developed to address the specific climatic needs of Italy. This model aims to integrate the most effective solutions, adapted to the geographical and climatic conditions of the area. The methodological approach includes a detailed framework of the most promising technologies and practices for climate neutrality, along with a set of operational recommendations for designers. The analysis focused on both the three-dimensional system of the building envelope and individual components and materials, with the aim of:
– Maximising the energy autonomy of regenerated buildings, both in the production and management of energy flows and in water management;
– Optimising NZEB and Positive Energy performance for both individual buildings and entire urban districts;
– Reducing costs and construction times by embedding the process within a circular rationale;
– Defining accessible and replicable solutions that facilitate the creation of new energy communities.

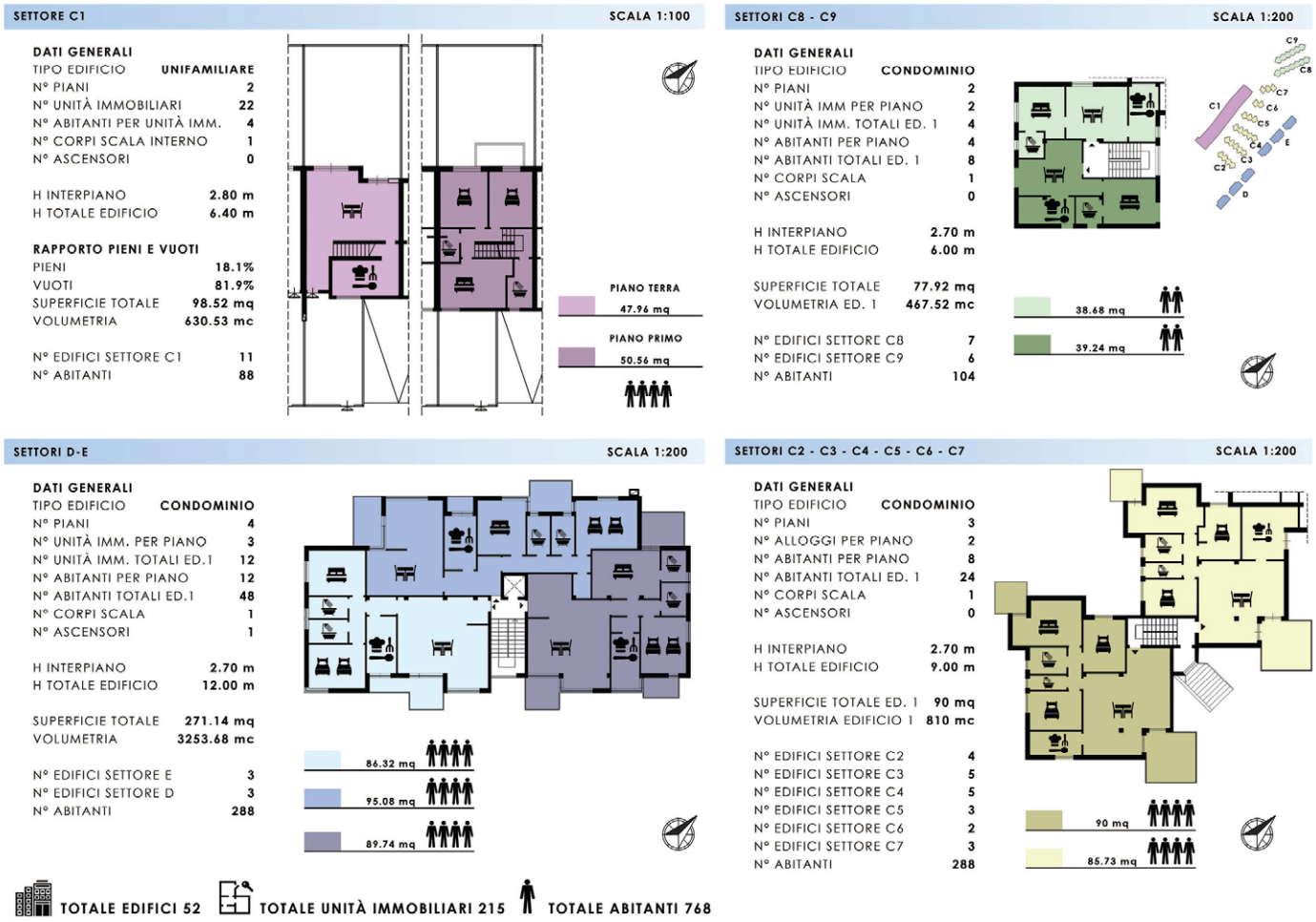
By using a high degree of prefabrication, these goals can be achieved in significantly shorter timeframes compared to traditional retrofitting interventions, thus minimising the impact on residents. Disassembly and end-of-life considerations for systems, components, and materials were taken into account from the design stage.

3. Pilot Case Experimentation. A pilot case was implemented in Castelnuovo di Porto to test energy efficiency and rapid intervention tools. The intervention was designed to evaluate the applicability of these scenarios in the reference context, aiming to maximise structural and energy outcomes while considering the building's entire life cycle.
In this phase, a pilot case was implemented in Castelnuovo di Porto, using tools to verify energy efficiency and the speed of intervention. This project was designed to evaluate the potential applicability of these scenarios in the Italian context, with the goal of maximising energy and structural outcomes, considering the building's entire life cycle.
4. Synthesis and Critical Evaluation: This final phase, currently under development, focuses on synthesising the results obtained, and on comparing them with international best practices, with the objective of identifying the strengths and weaknesses of the various strategies adopted. Future research developments will aim to refine these solutions and identify new opportunities for improving retrofitting and decarbonisation processes.

Pilot Project: The "Le Terrazze" district

The "Le Terrazze" district, located 10 km from the centre of Castelnuovo di

01 | Analisi delle tipologie edilizie. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
Building Type analysis. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors



Porto within the Metropolitan City of Rome, is a notable example of public housing development. It comprises residential buildings organised into row houses and linear blocks (Fig. 1), structured into distinct building sectors (referred to as "compartments" in planning documents):

- Sector A: Linear building;
- Sector B: Kindergarten;
- Sector C: Residential, including:
- C1: Row building with 11 housing units;
- C2 to C7: 22 linear buildings totalling 66 housing units;
- C8 and C9: 13 linear buildings totalling 52 housing units;
- Sector D: Three linear buildings totalling 36 housing units;
- Sector E: Three linear buildings totalling 36 housing units.

The district features gardens and public spaces, fostering a degree of liveability despite widespread degradation (Fig. 2). Public green areas cover 50% of the total surface, with 30% occupied by built structures and 20% allocated to roads and connective systems.

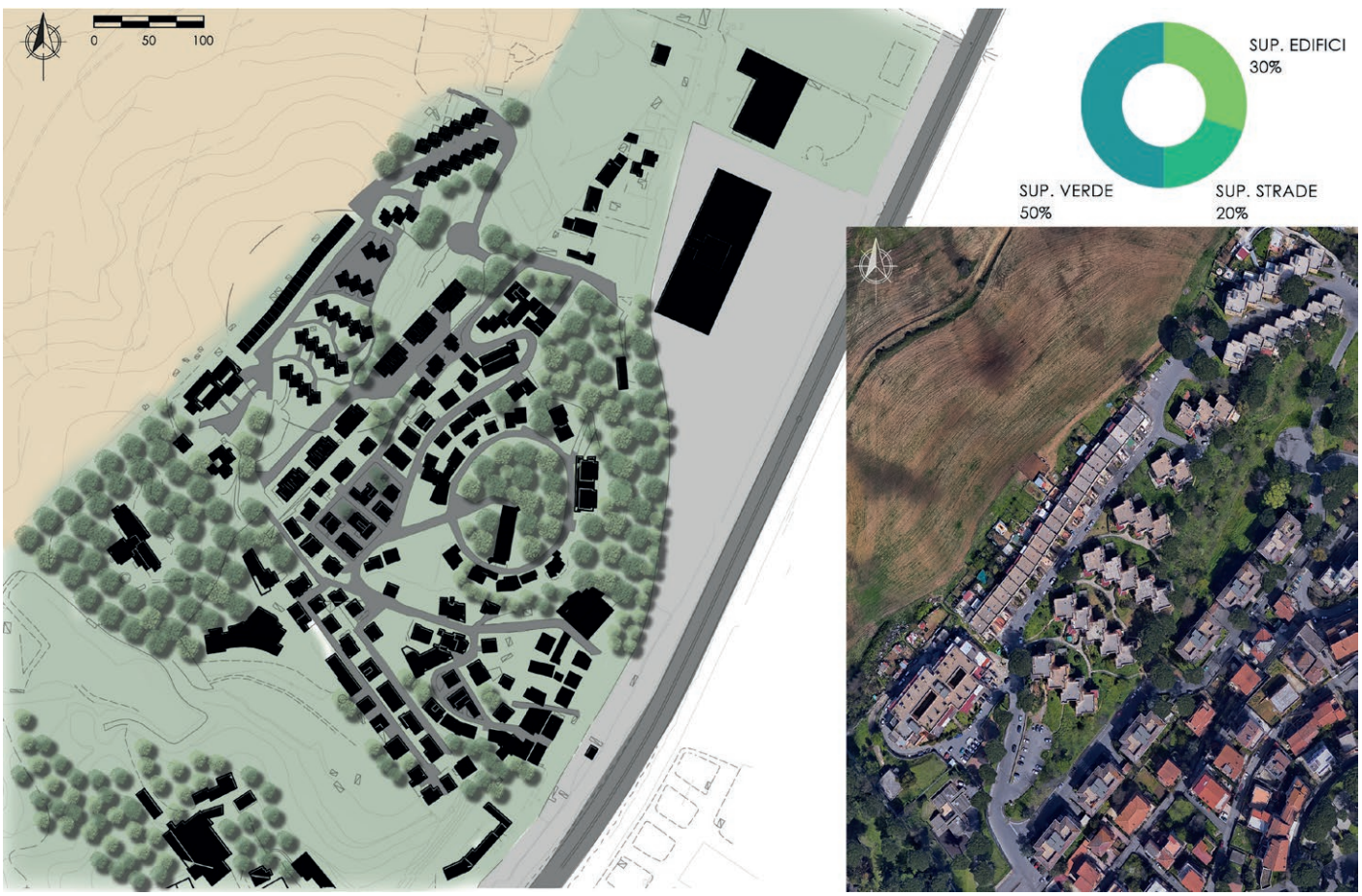
The experimental project, inspired by the "Energiesprong" approach, focused on building C1, comprising 11 row housing units arranged over two levels. The initial phase involved a detailed analysis of the building context, identifying structural degradation issues and assessing energy-environmental performance levels (e.g., energy performance index, acoustic behaviour). An environmental analysis followed, highlighting critical conditions resulting from the interaction between microclimatic factors (sunlight, ventilation, humidity) and the building complex.

The analyses revealed evident degradation and inadequate thermal performance of the building envelope. For example, the thermal transmittance of vertical opaque structures ranged from 1.216 to 1.804 W/m^{2}K, while the flat roof's transmittance was 1.855 W/m^{2}K, 5 to 7 times higher than the limits set by the Ministerial Decree of 26 June 2015 (0.32 W/m^{2}K for renovated buildings in climate zone D; Appendix B, Table 1, and 0.26 W/m^{2}K for roofs; Appendix B, Table 2). Windows also exhibited inadequate thermal transmittance, with values between 5.7 and 5.8 W/m^{2}K compared to the regulatory limit of 1.8 W/m^{2}K for climate zone D. According to a design strategy inspired by the "Energiesprong" approach, we then proceeded to design a "tailor-made" prefabricated component, specific for the building, consisting of envelope elements (panels; Fig. 3) characterised by dimensions, in height, equal to the overall height of the building, and of variable width to adapt to the dimensional and articulation specificities of the façade. The panels were designed to be built in the factory, completely off-site. They were stiffened by an internal metal structure, including specific holes corresponding to the window frames, characterised by a stratigraphic composition (Fig. 4) such as to provide the energy-performance levels required by the regulations, with rock wool insulation, plasterboard panels and, for the exterior, reinforced concrete. The technical-realisation phase involves the assembly of panels overlapping the current envelope structure with an absolutely reduced timeframe, estimated at 8 days (estimate in Fig. 3; carried out considering the use of specialised and previously trained labour). They can be quickly assembled on-site by using self-propelled vehicles (cranes)

02 | Il quartiere "Le Terrazze" a Castelnuovo di Porto con individuazione delle percentuali di copertura di suolo. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
"Le Terrazze" district in Castelnuovo di Porto, illustrating the percentages of land coverage. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors

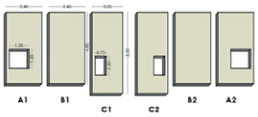
profondita fase di analisi del contesto edilizio, volta a porre in evidenza le condizioni di conservazione delle strutture edilizie, rilevando le problematiche di degrado nonché gli specifici livelli prestazionali di tipo energetico-ambientale (indice di prestazione energetica, comportamento acustico, ecc.). Successivamente è stata elaborata una specifica fase di analisi ambientale allo scopo di porre in evidenza le condizioni di criticità ambientale espresse dall'interazione tra le componenti microclimatiche (soleggiamento, ventilazione, umidità dell'aria) e il complesso edilizio.
Da tali analisi sono state evidenziate, in particolare, evidenti condizioni di degrado e di inadeguatezza prestazionale dell'involucro edilizio che, dal punto di vista del comportamento energetico, mostra livelli di trasmittanza delle strutture opache verticali variabili da 1,216 a 1,804 W/m^{2}K e pari a 1,855 W/m^{2}K per le strutture di copertura (solai piani), rispettivamente 5 volte e oltre 7 volte il valore limite fissato dal Decreto interministeriale del 26 giugno 2015. "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici" (0,32 W/m^{2}K per gli edifici esistenti sottoposti a riqualificazione energetica nella fascia climatica D; appendice B, tabella 1) e per le strutture di copertura (solai piani) (0,26 W/m^{2}K, appendice B, tabella 2). Anche tutti gli infissi sono caratterizzati da inadeguati livelli di trasmittanza termica, attestati su valori compresi tra 5,7 e 5,8 W/m^{2}K a fronte di limiti normativi pari a 1,8 W/m^{2}K per la fascia climatica D.
Secondo una strategia progettuale ispirata all'approccio "Energiesprong" si è proceduto quindi alla progettazione di una componentistica prefabbricata "su misura", specifica per l'edificio, consistente in elementi di involucro (pannelli; Fig. 3) caratterizzati da dimensioni, in altezza, pari all'altezza complessiva dell'edificio, e di larghezza variabile in adattamento alle specificità dimensionali e di articolazione del prospetto. I pannelli, irrigiditi da una struttura metallica interna e comprendenti specifiche bucature in corrispondenza degli infissi, caratterizzati da una composizione stratigrafica (Fig. 4) tale da conferire i livelli energetico-prestazionali richiesti dalla nor-

02 |

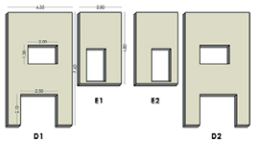


03 | Tempi di posa dei pannelli e schema di posizionamento degli stessi. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
Panel Installation times and their Placement Diagram. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors

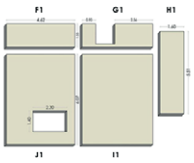
TEMPI DI POSA DEI PANNELLI SULLA STRUTTURA



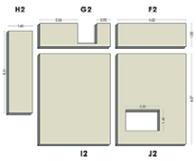
PROSPETTO	TIPO PANNELLO	mq	N° PANNELLI	TEMPO [min x 1 pannello]	TEMPO TOTALE DI REALIZZAZIONE	
A	A1	9,79	11	30	5h 30'	33h → 5 giorni
	B1	11,54	11	30	5h 30'	
	C1	10,29	11	30	5h 30'	
	A1	9,79	11	30	5h 30'	
	B2	11,54	11	30	5h 30'	
	C2	10,29	11	30	5h 30'	



B	D1	25,14	11	40	7h 20'	14h 40' → 2 giorni
	E1	10,61	11	40	7h 20'	
	D2	25,14	11	30	5h 30'	
	E2	10,61	11	30	5h 30'	



C	F1	7,11	1	20	20'	2h 20'
	G1	5,56	1	20	20'	
	H1	8,81	1	20	20'	
	I1	24,84	1	40	40'	
	J1	28,93	1	40	40'	



D	F2	7,11	1	20	20'	2h 20'
	G2	5,56	1	20	20'	
	H2	8,81	1	20	20'	
	I2	24,84	1	40	40'	
	J2	28,93	1	40	40'	
TOTALE		285,21	120	600	63h 20'	

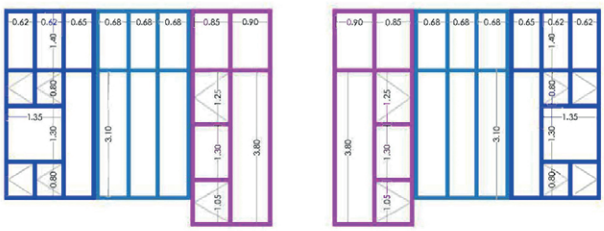
→ 1 giorno

Per giornata lavorarativa di 8h = 7g 7h 20' → **8 giorni**

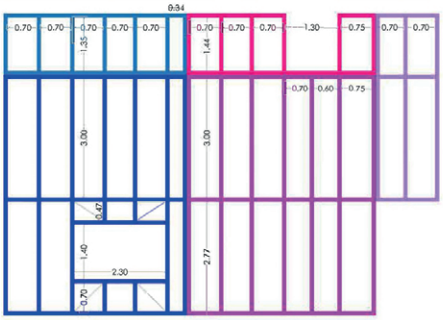
VELOCITA' LAVORI

SCHEMA DI POSIZIONAMENTO E DIMENSIONAMENTO DEI PANNELLI — SCALA 1:100

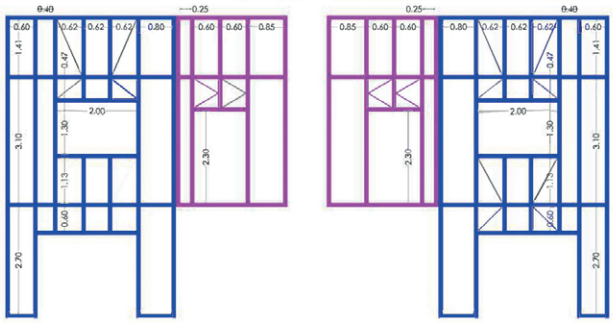
PORZIONE PROSPETTO A



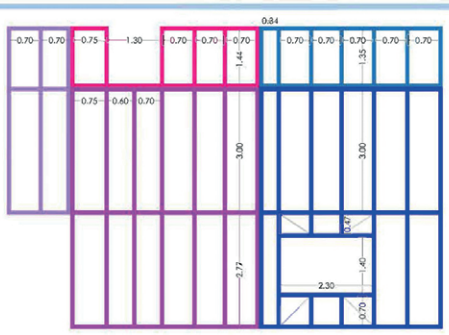
PROSPETTO C



PORZIONE PROSPETTO B

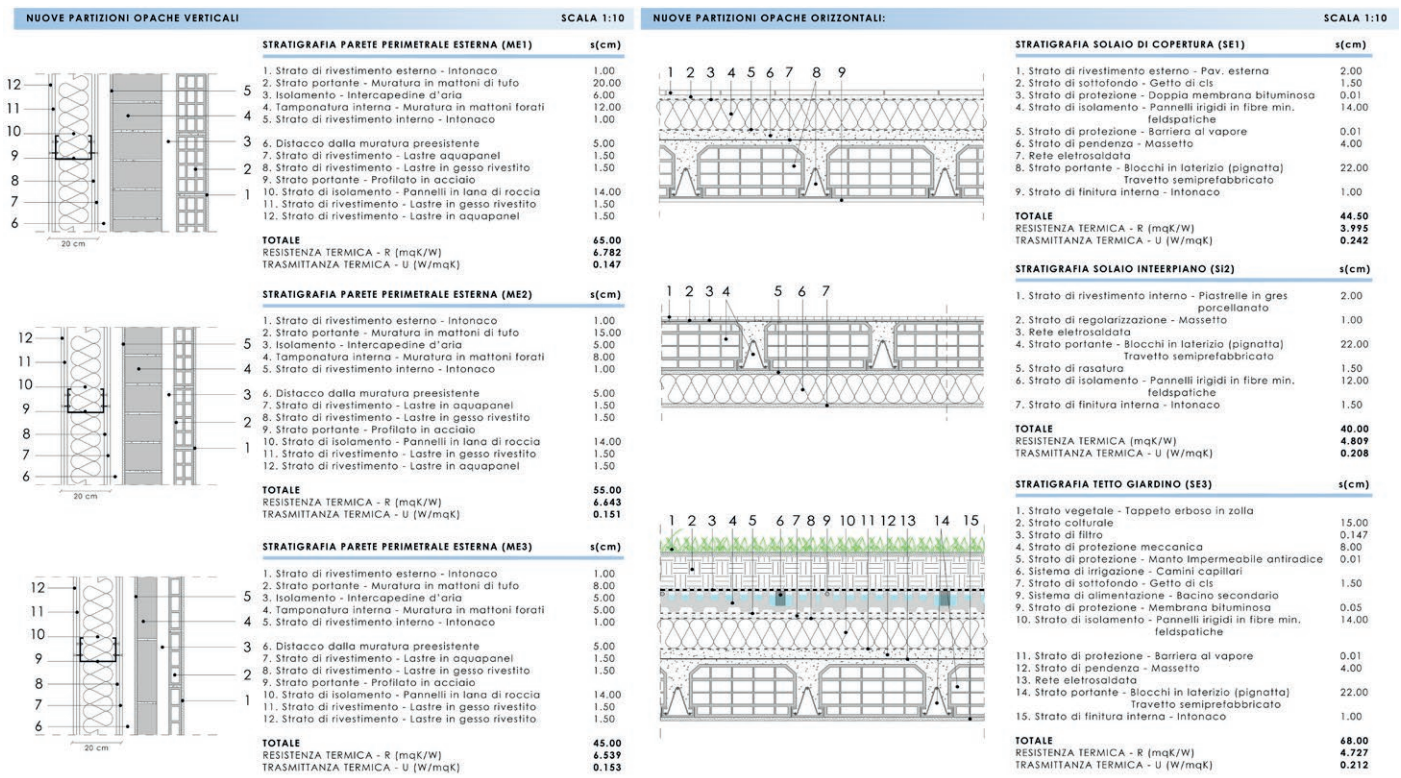


PROSPETTO D



04 | Stratigrafia delle pareti esterne, del solaio di copertura calpestabile, del tetto giardino e del solaio interpiano. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
Stratigraphy of the external walls, the walkable roof slab, the garden roof and the inter-storey slab. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors

04 |



mativa, con isolamento in lana di roccia, lastre in cartongesso e, per l'esterno, in cemento rinforzato, sono stati pensati per una realizzazione in stabilimento, completamente *off-site*. La fase tecnico-realizzativa prevede il montaggio dei pannelli in sovrapposizione all'attuale struttura di involucro: con una tempistica assolutamente ridotta, stimata in 8 giorni (stima in Fig. 3; effettuata considerando l'impiego di manodopera specializzata e precedentemente istruita) possono essere velocemente montati in opera con l'utilizzazione di mezzi (gru) semoventi con bracci meccanici su ruote, realizzando un nuovo involucro edilizio senza comportare l'allontanamento delle persone che abitano l'edificio.

Considerando la totalità delle operazioni edilizie previste (realizzazione della nuova copertura con *green roof*, smontaggio e montaggio dei nuovi infissi, ecc.) i tempi di realizzazione stimati rientrano in un mese. Di fatto parte del processo tecnico-realizzativo dell'operazione di retrofitting tecnologico è stato spostato in stabilimento, realizzando una notevolissima econo-

on wheels, equipped with mechanical arms, creating a new building envelope without requiring the removal of the people who live in the building.

Considering all the planned building operations (construction of the new covering with green roof, dismantling and assembly of the new fixtures, etc.), the estimated construction times fall within a month. In fact, part of the technical-installation process of the technological retrofitting operation has been moved to the factory, significantly saving time on site, together with an economy of on-site labour costs also in relation to the overall costs of the construction process. A total of 120 prefabricated panels were installed, designed in standardised types. The thermal transmittance was reduced to 0.15 W/m^{2}K, achieving a 90% improvement in energy efficiency. The double-skin façade is secured to the existing structure with high strength steel supports, ensuring stability, durability, and acoustic insulation (Fig. 5, Fig. 6). Non-aligned surfaces were treated with external thermal insulation, and window replacements achieved a transmittance of 1.6 W/m^{2}K.

The intervention also included a green roof with shared gardens accessible via prefabricated external staircases, promoting social interaction among residents (Fig. 7). Renewable energy systems, such as photovoltaic panels and solar collectors, were installed to transform the building into an NZEB. An energy performance analysis revealed a shift from the pre-intervention class (201.68 kWh/m^2 per year) to energy class A4, with an energy performance index of 54.42kWh/m^2 per year, reducing CO_2 emissions by 79%, from 64.8 kgCO_2/m^2 per year to 13.2 kgCO_2/m^2 per year.

Conclusions

The rehabilitation of the building stock is pivotal in addressing the climate crisis and improving urban living quality. The innovative technological retrofitting approach, inspired by the "Energiesprong" model, offers a practical pathway toward concrete sustainability objectives. The pilot project in the "Le Terrazze" district demonstrated that tangible results in energy efficiency and housing comfort can be achieved through advanced deep retrofit solutions based on unconventional manufacturing processes characterised by the use of prefabrication, the contraction of manufacturing times, and the reduction of on-site work. Although the focus has been mainly on operational emissions during the use of buildings, it is clear that a complete analysis cannot ignore the systematic inclusion of all emissions related to the entire life cycle of the building. The integration of such calculations into the evaluation framework of the energy and environmental performance of buildings is still an open topic that opens to further research developments.

Future applications and studies on a larger scale could further strengthen the replicability and effectiveness of such interventions in different building contexts. In summary, the proposed deep retrofit strategy could be one of the key answers to the challenge of converting existing buildings into eco-efficient and low environmental impact constructions, with a view to reducing climate-altering emissions, while also improving their economic value and living comfort conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper illustrates the results of

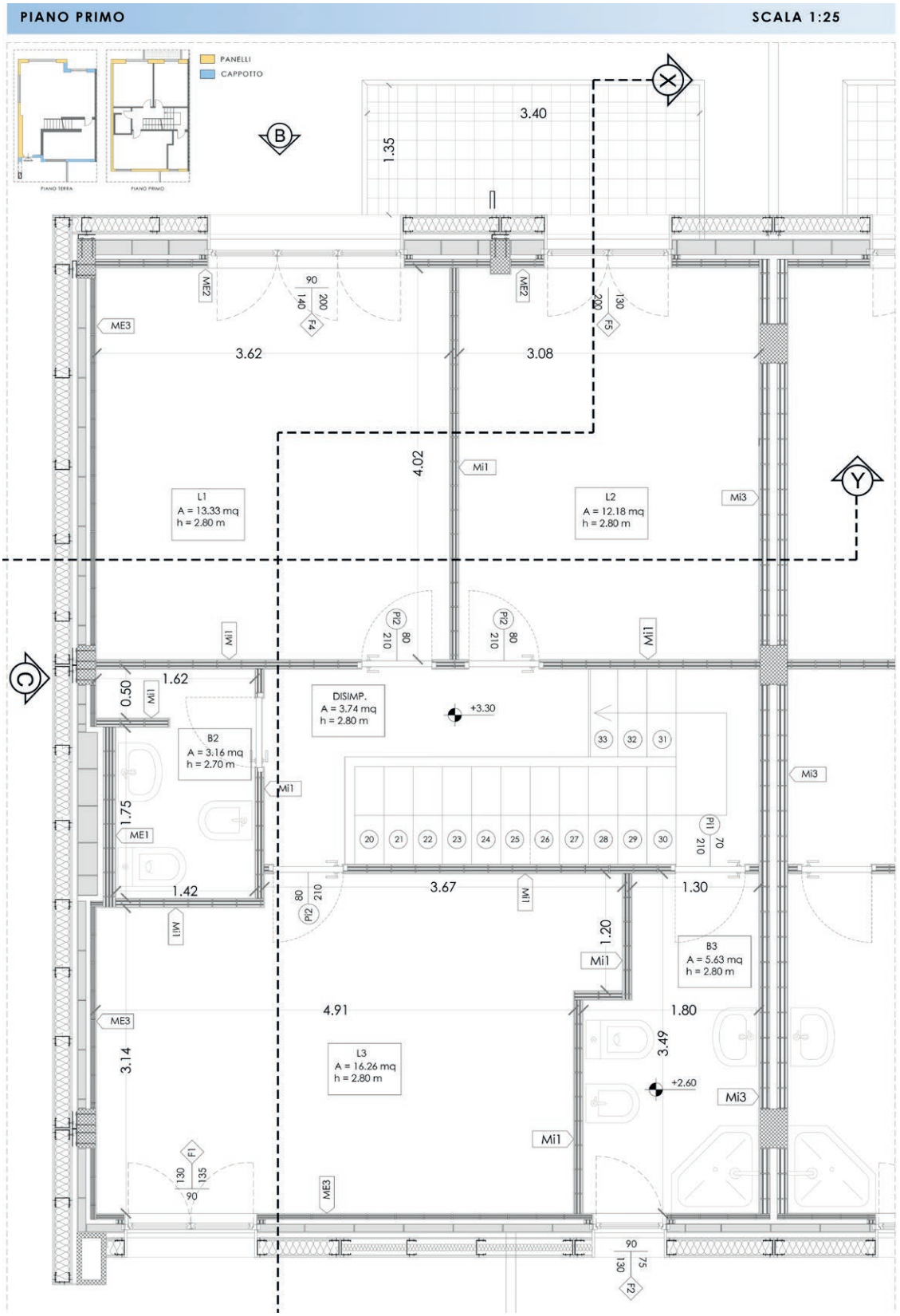
mia dei tempi in cantiere, unitamente a una economia dei costi di manodopera in situ anche in relazione ai costi complessivi del processo realizzativo.
L'intervento comprende complessivamente l'installazione di 120 pannelli prefabbricati, progettati in tipologie standardizzate. La trasmittanza termica passerà dai livelli citati a 0,15 W/m^{2}K, con un'efficienza energetica migliorata nell'ordine del 90%. La doppia pelle esterna sarà connessa alla struttura esistente con carpenteria metallica e supporti in acciaio ad alta resistenza, garantendo altresì stabilità, durabilità e isolamento acustico (Figg. 5, 6).
Nelle aree non adatte all'installazione dei pannelli prefabbricati (superfici non complanari, rientranze, ecc.) sarà utilizzato un cappotto termico esterno. La sostituzione degli infissi porterà la trasmittanza delle chiusure trasparenti a valori di 1,6 W/m^{2}K. Per la copertura è previsto un *green roof* e la realizzazione di orti condivisi, accessibili tramite scale esterne prefabbricate per promuovere la socialità tra i residenti (Fig. 7).
L'intervento è completato con l'installazione di sistemi di produzione energetica da fonte rinnovabile, pannelli fotovoltaici e collettori solari, che consentono di trasformare gli edifici in NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*). L'analisi delle prestazioni energetiche, condotta secondo la metodologia di calcolo dell'attestato di prestazione energetica (APE), evidenzia il raggiungimento della classe energetica A4, con un indice di prestazione energetica pari a 54,42 Kwh/mq annuo rispetto ad una base di partenza ante operam di 201,68 Kwh/mq annuo, contribuendo così alla riduzione del 79% di emissioni di CO_2 che passano da 64,8 kgCO_2/ m^2 a 13,2 kgCO_2/m^{2}a.

Conclusioni

La riqualificazione del patrimonio edilizio è cruciale per affrontare la crisi climatica e migliorare la qualità della vita urbana. L'approccio innovativo di retrofitting tecnologico, basato su strategie integrate e su tipologie di intervento ispirati al modello "Energiesprong", offre un percorso praticabile verso concreti obiettivi di sostenibilità. Il progetto pilota nel quartiere "Le Terrazze" ha dimostrato che è possibile ottenere risultati tangibili in termini di efficienza energetica e benessere abitativo attraverso l'adozione di soluzioni avanzate di deep retrofit basate su processi realizzativi non convenzionali caratterizzati dall'uso della prefabbricazione, dalla contrazione delle tempistiche di realizzazione e dalla riduzione delle lavorazioni in cantiere. Sebbene l'attenzione sia stata principalmente focalizzata sulle emissioni operative durante l'uso degli edifici è evidente che un'analisi completa non possa prescindere dall'inclusione in maniera sistematica di tutte le emissioni relative all'intero ciclo di vita dell'edificio. L'integrazione di tali calcoli nel quadro valutativo delle prestazioni energetiche e ambientali degli edifici è ancora una tematica aperta che apre ad ulteriori sviluppi della ricerca.
Future applicazioni e studi su scala più ampia potrebbero rafforzare ulteriormente la replicabilità e l'efficacia di tali interventi in contesti edilizi diversi. In sintesi, la strategia di deep retrofit proposta, potrebbe configurarsi come una delle risposte-chiave alla sfida della riconversione degli edifici esistenti in organismi edilizi eco-efficienti e a basso impatto ambientale, nell'ottica della riduzione delle emissioni climalteranti, migliorando altresì il valore economico degli stessi e le condizioni di comfort abitativo.

a specific research on the topic of technological retrofitting and deep retrofit, scientific director Domenico D'Olimpio, Team: Valeria Cecafosso and Gaia Turchetti with Valeria Brambilla and Eng. Marco Cucuzza (out-of-town operations consultant Edera s.r.l.); of research "FASTECH – A model for rapid technological building retrofit to cut energy demand and GHG emissions of housing toward renewable energy self-consumption and the smart energy communities", Rs.F. Tucci, Team V. Cecafosso and G. Turchetti; of research: "PNRR Rome Technopole Spoke 3 and Spoke 5 FP2, Theme Line 1 and Subtopic 1.2; PI Prof. F. Tucci, Co-ordinators under the table 1.2 D'Olimpio, Cecafosso, Team: M. Giampaoletti, G. Turchetti; with K. Mitrik, L. Montagner. Image processing: Arch. Valeria Brambilla.

05 | Pianta esecutiva del progetto di retrofitting dell'edificio settore C1. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
Executive plan of the retrofitting project for the sector building C1. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors

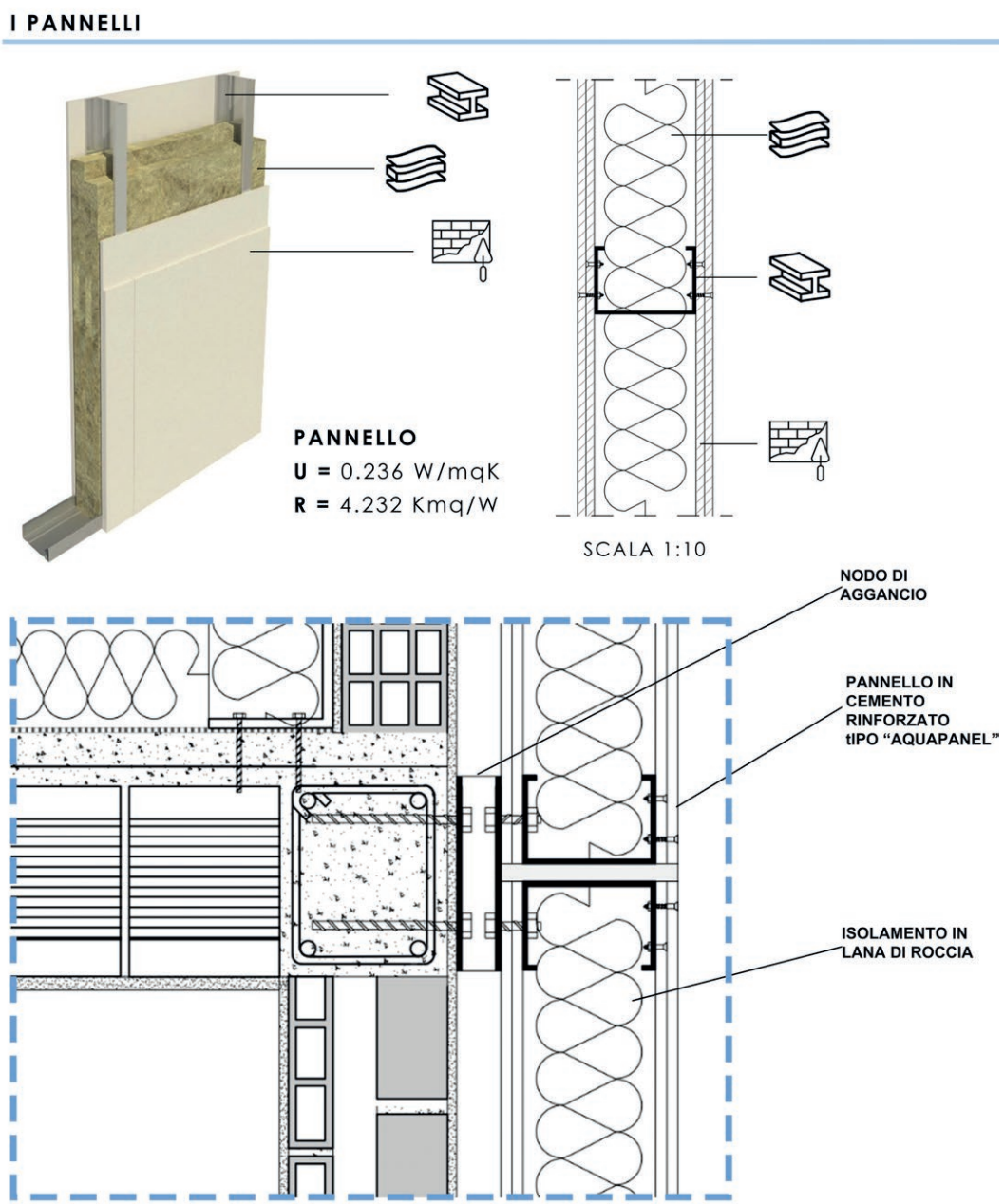


06 | Dettagli costruttivi degli elementi prefabbricati e del sistema di montaggio. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
Construction details of the prefabricated elements and the assembly system. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors

ATTRIBUZIONE E RICONOSCIMENTI

Il paper illustra gli esiti di una specifica ricerca sulla tematica del retrofitting tecnologico e del deep retrofit, responsabile scientifico Domenico D'Olimpio, Team: Valeria Cecafosso e Gaia Turchetti con Valeria Brambilla e ing. Marco Cucuzza (consulente operativo fuorisede Edera s.r.l.); della ricerca "FASTECH – A model for rapid technological building retrofit to cut energy demand and GHG emissions of housing toward renewable energy self-consumption and the smart energy communities", Rs.F. Tucci, Team V. Cecafosso e G. Turchetti; della ricerca: "PNRR Rome Technopole Spoke 3 e Spoke 5 FP2, Theme Line 1 and Subtopic 1.2; PI Prof. F. Tucci , Coordinatori sotto tavolo 1.2 D'Olimpio, Cecafosso, Team: M. Giampaoletti, G. Turchetti; con K. Mitrik, L. Montagner. Elaborazione delle immagini: Arch. Valeria Brambilla.

| 06



07 | Esploso assonometrico progetto di *retrofitting* del settore C1. Elaborazione grafica di V. Brambilla con la supervisione degli autori
Axonometric Exploded View of the Retrofitting Project for Sector C1. Graphic elaboration by V. Brambilla under the supervision of the authors

REFERENCES

Building 4.0 CRC (2024), *Quick-Fact-Sheet.* Available at: https://building4pointzero.org/wp-content/uploads/2022/12/Building-4.0-CRC-Quick-Fact-Sheet-Dec-2022.pdf (Accessed on 03/02/2025).

Causone, F., Tatti, A., & Alongi, A. (2021). "From Nearly Zero Energy to Carbon-Neutral: Case Study of a Hospitality Building". *Applied Sciences*, Vol. 11 n. 21, 10148. Available at: https://doi.org/10.3390/app112110148.

D'Olimpio D. (2023), *Il Retrofitting Tecnologico. Energetico e Bioclimatico nell'Edilizia*, Legislazione Tecnica, Roma.

Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 8 maggio 2024. Available at https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275 (Accessed on 03/02/2025).

Guo, Y., Shi, E., Yan, R. *et al.* (2023), "System based greenhouse emission analysis of off-site prefabrication: a comparative study of residential projects", *Sci Rep.,* Vol. 13, p. 10689. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-023-37782-x.

Satola, D., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Wiberg, A.H., Gustavsen, A. (2021). How to define (net) zero greenhouse gas emissions buildings: The results of an international survey as part of IEA EBC annex 72. *Build. Environ.* Vol. 192. Available at: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107619.

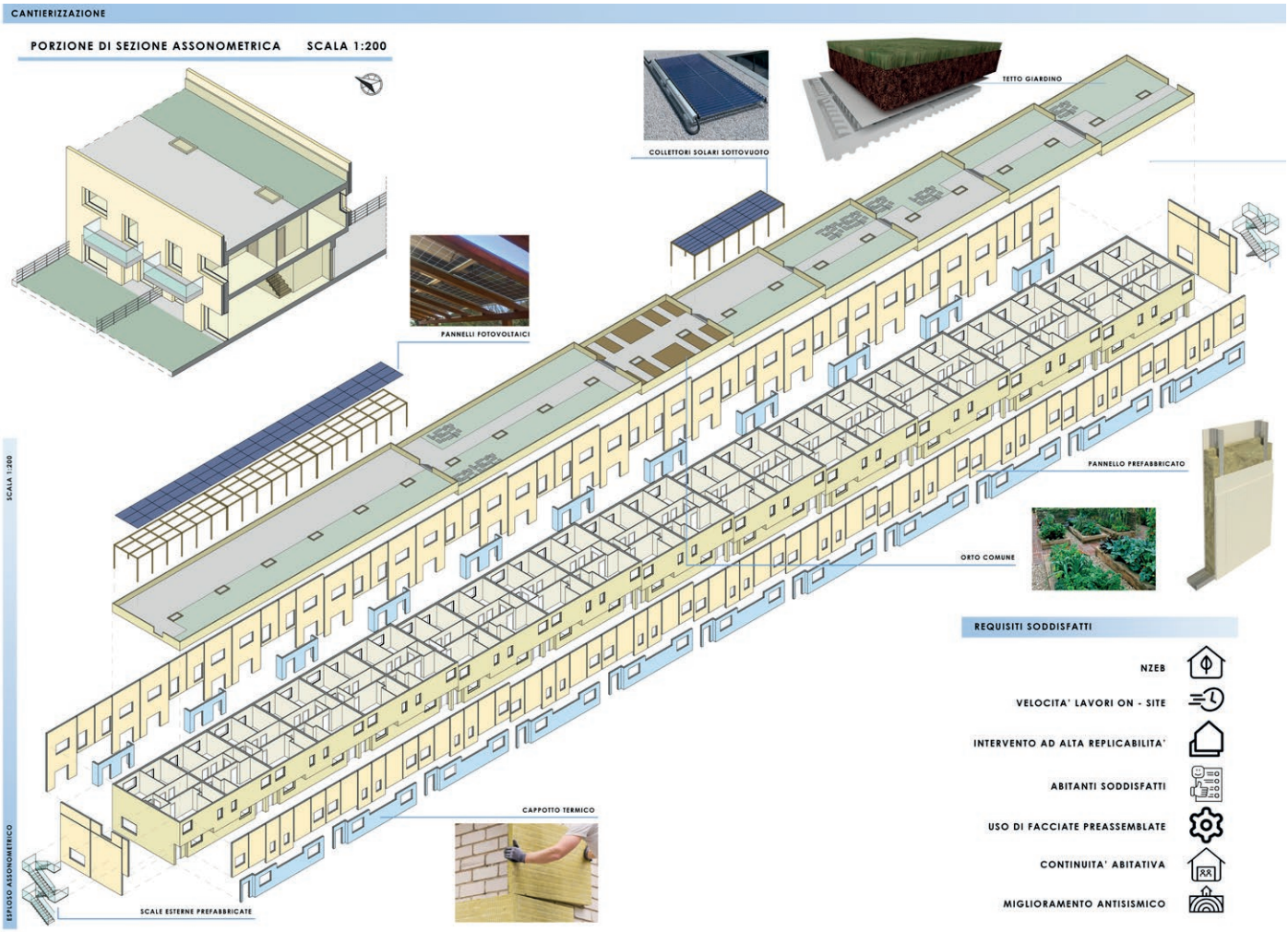
Lützkendorf, T., Frischknecht, R. (2020), (Net-) zero-emission buildings: A typology of terms and definitions. *Build. Cities* Vol 1, pp. 662-675. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.66.

Ruoyu J., Jingke Hong b, Jian Zuoc, (2020), "Environmental performance of off-site constructed facilities: A critical review." *Energy and Buildings* Vol. 207. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109567.

Tucci F (2018), *Costruire e Abitare Green. Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale | Green Building and Dwelling. Approaches, Strategies, Experimentation for an Environmental Technological Design*, Altralinea Edizioni, Firenze.

Zhivov A., Rudiger L. (2020), *Deep Energy Retrofit – A Guide to Achieving Significant Energy Use Reduction With Major Renovation Projects*, Springer, Berlino.

07 |



Il progetto delle comunità energetiche: ottimizzazione tra ambiente, tempo e luogo

Chiara Scanagatta, https://orcid.org/0000-0002-7174-8169 cscanagatta@iuav.it
Massimiliano Condotta, https://orcid.org/0000-0002-7959-4520 condotta@iuav.it
Dipartimento di Culture del progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

Abstract. L'installazione di sistemi energetici da fonti rinnovabili porta alla modifica degli spazi di prossimità delle comunità, con alterazioni irreversibili del paesaggio naturale e antropico. Pertanto, è necessario sviluppare strategie per integrare questi sistemi nell'ambiente, preservando il valore dei luoghi in base alle loro peculiarità e caratteristiche. Il progetto PANORAMA, con il suo *tool* multicriterio che integra diversi aspetti (potenzialità, costi e ambientale), promuove l'attivazione di comunità energetiche che beneficino di soluzioni studiate in base alle loro specificità. Il contributo si focalizza sull'aspetto dell'integrazione ambientale, illustrando la strategia adottata per analizzare a valutare in modo analitico questo fattore, per sua natura difficilmente quantificabile.

Parole chiave: Comunità energetiche; Impatto rinnovabili; Integrazione ambientale; Valorizzazione del contesto.

Fonti rinnovabili, paesaggio e ambiente

La decarbonizzazione che, seppur con livelli di attuazione diversi, sta convenientemente interessando molte parti del pianeta quale azione indispensabile al raggiungimento di città e territori *carbon neutral,* è un processo epocale, quantomai opportuno e inarrestabile. Al pari di altri fatti storici, la sua attuazione porterà nei luoghi interessati da tale fenomeno dei mutamenti strutturali che si protrarranno nel tempo. È infatti assodato come uno degli elementi imprescindibili di tale transizione sia la produzione energetica integrata da fonti rinnovabili e come quest'ultima stia assumendo un'accelerazione incrementale. Una conseguenza di tale – positiva – svolta energetica, è la proliferazione di impianti per le energie rinnovabili; una diffusione a volte incontrollata se osservata sia dal punto di vista dell'ambiente, inteso nella sua complessità di ambiente naturale o antropico, sia dal punto di vista della collettività, che potrebbe venire privata dei vantaggi collegati al cambiamento in corso (Spyridonidou *et al*., 2022). Manca, in questo scenario, una transizione verso pratiche di co-produzione che garantiscano reali benefici per le comunità e che considerino, oltre alla convenienza energetica, la valorizzazione del contesto ambientale. Per rispondere a questa necessità, l'Unione Europea sta abbandonando politiche di incentivazione ai privati, preferendo strategie volte all'istituzione di comunità energetiche rinnovabili (CER) capaci di associare prosumer e consumatori sia pubblici che privati; ciò consentirà alle CER, teoricamente, di poter gestire con strategie *bottom-up* il rapporto tra i sistemi di produzione e i luoghi destinati ad ospitarli.

In tale prospettiva, il progetto di ricerca PANORAMA[1] si pone come obiettivo lo sviluppo di un *tool* multicriterio, transcalare e collaborativo per promuovere l'attivazione di CER, fornendo il supporto necessario per una progettazione dei sistemi tecnologici che porti ad una ottimizzazione tra ambiente, rendimento energetico e opportunità socioeconomiche.

Il modello proposto considera tre indicatori: (i) possibilità di sviluppo di reti di energie rinnovabili e relativa potenzialità di produzione elettrica sulla base delle caratteristiche climatiche, geomorfologiche e urbane dell'area; (ii) rapporto costi-benefici in riferimento alle scelte tecnologiche e alle possibili soluzioni di stoccaggio dell'energia prodotta; (iii) livello di ottimizzazione raggiungibile tra ambiente e i sistemi di produzione energetica da integrare nei relativi contesti. Questi tre aspetti, analizzati contemporaneamente, sono alla base del *tool* PANORAMA che consente di eseguire analisi predittive atte a valutare la combinazione e localizzazione ottimale dei sistemi di produzione

The design of energy communities: optimising environment, time and place

Abstract. The installation of systems from renewables leads to the modification of communities' proximity spaces, with irreversible alterations of the natural and man-made landscape. Hence the need to develop strategies to integrate these systems into the environment, preserving the value of places according to their peculiarities and characteristics. The PANORAMA project, with its multi-criteria tool integrating different aspects (potential, cost and environmental ones), promotes the activation of energy communities that benefit from solutions designed according to their specific features. The paper focuses on the aspect of environmental integration, illustrating the strategy adopted to analytically analyse and evaluate this factor, which is by nature hard to quantify.

Keywords: Energy Communities; Renewable Impact; Environmental Integration; Environmental Enhancement.

Renewable sources, landscape and environment

The decarbonisation that, albeit with different levels of implementation, is conveniently affecting many parts of the planet as an indispensable action to achieve carbon neutral cities and territories, is an epochal, highly opportune, and unstoppable process. Like other historical events, its implementation will bring structural changes to the places involved that will last over time. Indeed, it is well established that one of the indispensable elements of this transition is integrated energy production from renewable sources, and how this is accelerating incrementally. A consequence of this – admittedly positive – energy turnaround is the proliferation of new plants for renewable energies. Such dissemination is sometimes uncontrolled if observed both from the point of view of the environment, understood in its complexity as a natural or man-made environment, and from the point of view of the community, which could be deprived of the benefits linked to the ongoing change (Spyridonidou *et al*., 2022). This scenario lacks a transition towards co-production practices that guarantee real benefits for communities and that consider, in addition to energy convenience, the enhancement of the environmental context. To respond to this need, the European Union is abandoning policies that incentivise private entities, preferring strategies aimed at establishing Renewable Energy Communities (RECs) capable of associating prosumers and consumers, both public and private. This will theoretically allow RECs to use bottom-up strategies to manage the relationship between production systems, and the places destined to

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16591

energetica rinnovabile: attualmente la ricerca sta studiando il caso del fotovoltaico con la possibilità futura di integrare eolico e idroelettrico.
Di particolare importanza è l'aspetto dell'integrazione ambientale, soprattutto in relazione alle variabili di luogo e tempo. L'inserimento di questi elementi senza una strategia coordinata modifica gli spazi di prossimità delle comunità in modo permanente, con il rischio di alterazioni irreversibili dell'ambiente. Al contrario, una corretta ed accurata integrazione diviene un'ulteriore stratificazione culturale che valorizza i luoghi in base alle loro peculiarità e caratteristiche, configurandosi come un'operazione di progettazione ambientale sostenibile orientata al miglioramento delle condizioni in cui opera (Condotta, 2024).
In tale prospettiva, la ricerca qui presentata si pone su un piano parallelo al contesto normativo. L'approccio adottato è di focalizzarsi sulla percezione che le comunità locali hanno dell'integrazione dei sistemi di energia rinnovabile esulando dalle considerazioni degli stakeholder istituzionali. Tale approccio è oltretutto condizionato dal periodo attuale che vede un continuo susseguirsi di norme riguardanti i vincoli sull'installazione degli impianti per le rinnovabili e il rilascio delle autorizzazioni paesaggistiche, delineando un quadro normativo incerto e mutevole. È pertanto opportuno esulare da criteri legislativi e fornire piuttosto uno strumento che, considerando aspetti fenomenologici e universalmente riconoscibili, sia adattabile a contesti diversi e possa interagire con una normativa in continua evoluzione. Con tale approccio si giunge a sviluppare delle linee guida per la definizione di criteri di integrazione e valutazione che, basati su un approccio *bottom-up* e trasversale, possono contribuire con maggior efficacia a salvaguardare sia il paesaggio che gli aspetti culturali intrinseci dei luoghi.

La questione dell'integrazione ambientale

È già ampiamente condiviso come l'integrazione delle energie rinnovabili sia una priorità e, affinché avvenga correttamente, siano necessari vincoli progettuali quali: (i) vincoli percettivo-culturali volti a salvaguardare le caratteristiche simboliche, storiche, stilistiche, il rispetto della memoria collettiva e le connessioni con il paesaggio; (ii) vincoli morfologico-dimensionali per tutelare le caratteristiche dell'involucro; (iii) vincoli materico-costruttivi volti a preservare i materiali e le tecniche costruttive, e le loro prestazioni (De Medici, 2021). Queste attenzioni progettuali possono ridurre il forte impatto in termini di modifica della percezione della qualità dell'ambiente conseguente all'installazione di elementi di produzione energetica, evitando in questo modo il riscontro negativo delle comunità che vedrebbero alterati i loro luoghi di prossimità (Salak *et al*., 2021).
Per meglio comprendere le ragioni dell'impressione negativa si deve infatti considerare il concetto di "accettazione sociale", che include questioni quali l'"impatto visivo" e l'"attaccamento al luogo" (Lobaccaro *et al*., 2019; Salak *et al*., 2021). Queste sono il risultato di un insieme di percezioni eterogenee che dipendono dalle esperienze specifiche delle persone: la diretta conseguenza è una disomogeneità anche nei significati del paesaggio che può essere definito come sommatoria delle qualità fisiche che lo caratterizzano e della percezione che le persone ne hanno, intesa come azione e interazione tra fattori naturali e umani (Enserink *et al*., 2022).

host them.
In this perspective, the PANORAMA[1] research project aims at developing a multi-criteria, transcalar and collaborative tool to promote the activation of RECs, providing the necessary support for the design of technological systems enhancing environment, energy performance, and socio-economic opportunities.
The proposed model considers three indicators: (i) the possibility of developing renewable energy networks and the relative potential for electricity production based on the climatic, geomorphologic and urban characteristics of the area; (ii) the cost-benefit ratio with reference to technological choices and possible storage solutions for the energy produced; (iii) the level of optimisation that can be achieved between the environment and the energy production systems to be integrated into the relative contexts. These three aspects, analysed simultaneously, form the basis of the PANORAMA tool for performing predictive analyses to assess the optimal combination and location of renewable energy production systems. Research is currently studying the case of photovoltaics with the future possibility of integrating wind energy and hydropower.
The aspect of environmental integration is particularly important, especially taking into account the place and time variables. The integration of these elements without a coordinated strategy permanently alters the proximity spaces of communities, with the risk of irreversible alterations to the landscape. Conversely, correct and accurate integration becomes an additional cultural stratification that enhances the places according to their peculiarities and characteristics, configuring itself as a sustainable environmental design operation focused on improving the conditions in which it operates (Condotta, 2024).
From this perspective, this research is parallel to the regulatory framework. The approach adopted is to focus on local communities' perceptions of the integration of renewable energy systems beyond the considerations of institutional stakeholders. Moreover, this approach is influenced by the current period, which witnesses a continuous succession of regulations regarding constraints on the installation of renewable energy systems and the issuance of landscape authorisations, outlining an uncertain and changing regulatory framework. It is, therefore, advisable to move away from legislative criteria and rather provide a tool that, considering phenomenological and universally recognisable aspects, is adaptable to different contexts and can interact with an ever-changing legislation. This approach leads to the development of guidelines for the definition of integration and assessment criteria which, based on a bottom-up and transversal approach, can contribute more effectively to safeguarding both the landscape and the intrinsic cultural aspects of places.

The environmental integration issue

Theres is already wide consensus that the integration of renewable energies is a priority, and its proper implementation requires design constraints: «(i) perceptive-cultural constraints aimed at preserving symbolic, historic, stylistic […] features, respect for the collective memory, and aesthetic connections with the landscape; (ii) morphological-dimensional constraints aimed at preserving the […] characteristics of

La valutazione da parte dell'individuo del paesaggio – e dell'impatto visivo – varia nel tempo ed è fortemente soggettiva; è tuttavia possibile utilizzare approcci diversi che consentono di caratterizzarlo come elemento fisico a cui associare variabili differenti come le risorse paesaggistiche, la consapevolezza e l'impegno professionale, l'estetica individuale (Kang and Liu, 2022; Wolsink, 2018). Studi come quello di Lothian (1999) seguono questo approccio di oggettivizzazione del paesaggio e utilizzano strumenti di rappresentazione visiva e interviste per includere il punto di vista delle comunità locali nella valutazione del contesto, ottenendo così indicazioni su quali siano gli elementi tipizzanti e come vengano percepiti permettendo un'analisi basata su criteri maggiormente oggettivi.
L'analisi della letteratura dimostra come non esista ancora un consenso univoco su quali fattori influenzino l'accoglimento dei progetti di installazione di sistemi energetici rinnovabili (Enserink *et al*., 2022). Tuttavia, è di grande importanza non trascurare il concetto di accettazione sociale nella progettazione di queste soluzioni (Toledo and Scognamiglio, 2021) poiché la conservazione di un luogo deve identificare e considerare tutti gli aspetti legati al suo significato naturale e culturale (Tena and García-Esparza, 2019). Inoltre, è necessario definire politiche, criteri di progettazione e raccomandazioni appropriate per affrontare il contrasto tra conservazione e produzione energetica, stabilendo in maniera adeguata i vincoli e le caratteristiche dei contesti (Lucchi, 2022).
Le considerazioni poc'anzi riportate restituiscono un quadro culturale ed operativo che ribadisce l'importanza dell'integrazione dei sistemi di rinnovabili, aspetto di non facile interpretazione e valutazione essendo difficilmente misurabile e quantificabile. È pertanto strategico sia affrontare la questione sperimentando procedure orientate a tale scopo, sia proporre modelli interpretativi dell'integrazione ambientale dei sistemi fotovoltaici. Nonostante le diverse ricerche svolte sull'argomento, non è stato ancora sviluppato uno strumento integrato: il progetto PANORAMA intende contribuire a colmare questo divario tramite la sperimentazione di un modello teorico interpretativo per l'integrazione ambientale di sistemi di rinnovabili a servizio delle CER.

Metodologia

I confini entro i quali sviluppare la cornice metodologica sono stati delineati a partire dal concetto di "ambiente" nella sua condizione di "insieme di luoghi". Questi ultimi sono gli spazi destinati ad ospitare gli impianti di rinnovabili quali nuovi "oggetti" che entrano a far parte del sistema ambientale costituito da due insiemi: «(i) *il piano degli elementi naturali*, dell'ecosistema inteso nel suo carattere metafisico; (ii) *il piano degli elementi culturali*, degli oggetti frutto dell'attività umana prodotti dell'intersoggettività sociale» (Condotta, 2024). Si identificano in questo modo "luoghi" come paesaggi naturali o culturali e "luoghi" costituiti da singoli fatti culturali (edifici od altri artefatti): per ognuno di questi, il processo di integrazione deve essere specificamente progettato e attuato.
A tale scopo, il modello interpretativo prevede due strutture distinte, una per i "luoghi-paesaggi" ed una per i "luoghi-fatti". L'approccio è tuttavia il medesimo: l'inserimento dei nuovi oggetti deve essere attuato in modo da preservare «l'immagine ambientale» (Lynch, 2001) dei contesti nei quali essi vengono inseriti, salvaguardando gli aspetti "tipizzanti" e tutelando la

the envelope; (iii) material-constructional constraints aimed at preserving the building materials and techniques, as well as their performance» (De Medici, 2021). These design aspects can reduce the strong impact in terms of modifying perception of landscape quality, thus avoiding the negative feedback from communities that witness the alteration of their places of proximity (Salak *et al*., 2021).
In order to better understand the reasons for the negative impression, it is necessary to consider the concept of "social acceptance", which includes issues such as "visual impact" and "place-attachment" (Lobaccaro *et al*., 2019; Salak *et al*., 2021). These are the result of a set of heterogeneous perceptions that depend on people's specific experiences. The direct consequence is an inhomogeneity also in the meanings of what the landscape means. Indeed, the landscape can thus be defined as a summation of the physical qualities that characterise it, and of the perception that people have of it, viewed as the action and interaction between natural and human factors (Enserink *et al*., 2022).
An individual's evaluation of the landscape – and its visual impact – varies over time, and is highly subjective. However, different approaches can be used to characterise it as a physical object to which different variables such as landscape resources, professional awareness and commitment, and individual aesthetics can be associated (Kang and Liu, 2022; Wolsink, 2018). Studies such as that by Lothian (1999) follow this approach of objectifying the landscape. They use visual representation tools and surveys to include the point of view of local communities in context evaluation, thus obtaining indications of what the typifying elements are and how they are perceived, achieving an analysis based on more objective criteria.
The literature review shows that there is still no clear consensus on which factors influence the acceptance of renewable energy installation projects (Enserink *et al*., 2022). However, it is of great importance not to neglect the concept of social acceptance when designing these solutions (Toledo and Scognamiglio, 2021), as the conservation of a place must identify and consider all aspects related to its natural and cultural significance (Tena and García-Esparza, 2019). Furthermore, it is necessary to define appropriate policies, design criteria and recommendations to address the contrast between conservation and energy production by adequately establishing the constraints and characteristics of the contexts (Lucchi, 2022).
The above considerations paint a cultural and operational picture that reaffirms the importance of integrating renewable energy systems. This aspect is not easy to interpret and evaluate as it is difficult to measure and quantify. It is, therefore, strategic to both address this issue by experimenting with procedures geared to this end, and to develop an interpretative model of the environmental integration of photovoltaic systems. Despite the extensive research carried out on the subject, an integrated tool has not yet been developed. The PANORAMA project aims to contribute to bridging this gap by testing an interpretative theoretical model for the environmental integration of renewable energy systems serving RECs.

Methodology

The boundaries within which to develop the methodological framework

possibilità dell'osservatore di percepirli. Si viene in tal modo a creare una corrispondenza tra le potenziali/possibili caratteristiche degli "oggetti" e le effettive/specifiche caratteristiche dei "luoghi".
La metodologia adottata per l'individuazione dei "fatti" e degli "attributi" da considerare come "elementi tipizzanti" all'interno del processo poc'anzi descritto ha previsto due indagini parallele: (i) un'osservazione qualitativa che ha portato alla redazione di schede operative tramite le quali osservare i luoghi definendo i fattori tipizzanti dal punto di vista percettivo; (ii) un esame, attraverso *desk study*, degli elementi considerati in studi analoghi.
La prima attività è stata svolta su un territorio specifico, corrispondente all'area studio del progetto di ricerca, permettendo di definire una prima serie di elementi dall'analisi diretta. La seconda ha comportato l'analisi di altre ricerche che propongo la definizione di alcuni aspetti caratterizzanti l'ambiente o gli edifici non riscontrando tuttavia una casistica completa ed esaustiva. Nondimeno, attraverso un'integrazione e ibridazione delle informazioni ottenute dalle due indagini è stato definito un approccio generale volto a sviluppare un modello interpretativo inedito e innovativo.

Risultati: le matrici di valutazione

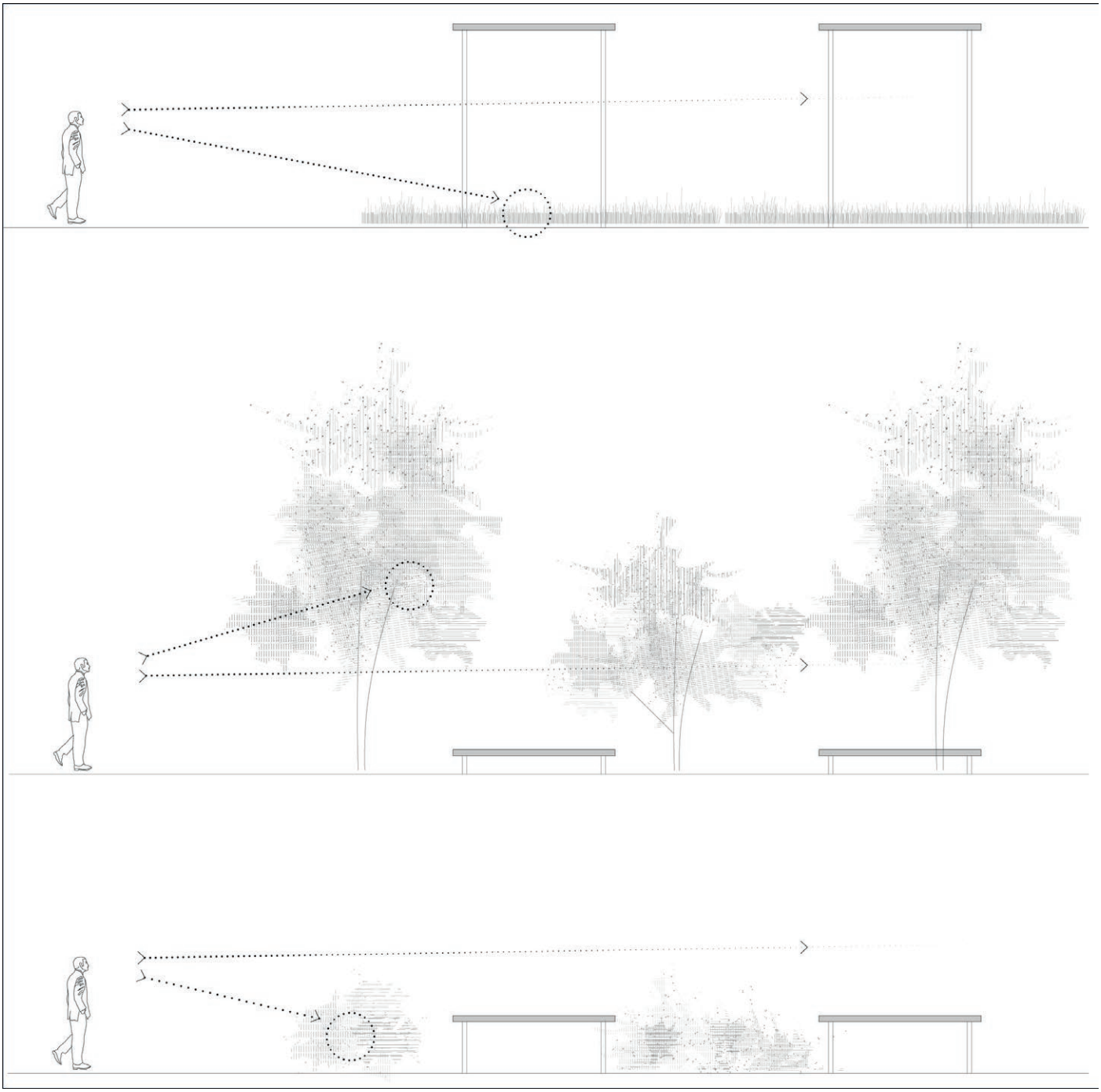
Le strutture del modello teorico sono state concretizzate attraverso due matrici di valutazione:
– matrice dei "luoghi-paesaggi naturali o culturali";
– matrice dei "luoghi-fatti culturali".
Si tratta di strumenti da utilizzarsi nella fase pre-progettuale, integrati all'interno di una piattaforma digitale interattiva che considera contemporaneamente più aspetti – potenzialità, costi, integrazione – e più luoghi parte del territorio della potenziale CER oggetto di studio. Vi è pertanto la necessità che tali matrici si configurino come schemi snelli, flessibili ma allo stesso tempo efficaci. Per tale ragione, i fattori da considerare sono stati sintetizzati in:
– localizzazione degli elementi tipizzanti e/o morfologia degli edifici;
– posizione degli oggetti rispetto al contesto;
– cromatismi del contesto e colorazione degli oggetti.

Matrice luoghi-paesaggi naturali o culturali
In tale contesto gli elementi tipizzanti riguardano alberature, prati, emergenze, ed altri fatti che rendono identificabile nell'immaginario della comunità un dato luogo e che ne garantiscono il "pregio". Per preservarne il carattere complessivo è necessario individuare la loro posizione rispetto alla visuale dell'osservatore in modo da non ostacolarla od alterarla con l'introduzione dei nuovi oggetti (Fig. 1).
L'applicazione della matrice (Tab. 1) prevede la caratterizzazione del luogo tramite l'identificazione degli elementi tipizzanti, della loro localizzazione e dei principali cromatismi a diversi livelli di altezza – considerando anche aspetti di stagionalità – in modo da poter comparare il colore di potenziali oggetti con quello del contesto di inserimento.
Nello specifico, le informazioni relative al contesto sono:
– la "localizzazione dell'elemento tipizzante" può essere considerata alle tre altezze di "al suolo", "sull'orizzonte" e "alta", che possono corrispondere, ad esempio, rispettivamente a: 0-1m; < 5m; > 5m;

were delineated from the concept of "environment" considered a "set of places". The latter are the spaces intended to accommodate the systems as new "objects" that become part of the environmental system constituted by the integration of two ensembles: (i) the *level of the natural elements*, of the ecosystem understood in its metaphysical character; (ii) the *level of the cultural elements*, of the objects resulting from human activity produced by social intersubjectivity and interrelations between people and, therefore, the bearers of meaning and sense (Condotta, 2024). One can thus identify both "places" as natural or cultural landscapes and "places" consisting of individual cultural facts (buildings or other artifacts). For each of these, the process of integrating the new objects must be specifically designed and carried out.
The interpretative model thus envisages two distinct schemes, one for natural or cultural "places-landscapes", and one for cultural "places-facts". However, the approach is the same, that is the integration of new objects must be implemented in such a way as to preserve the «environmental image» (Lynch, 2001) of the contexts in which they are inserted, safeguarding the "typifying" aspects and protecting the observer's ability to perceive them. This creates a correspondence between the potential/possible characteristics of the "objects" and the actual/specific characteristics of the "places".
The methodology adopted to identify the "facts" and "attributes" to be considered as typifying elements within the process just described provided two parallel investigations: (i) a qualitative observation that led to the drafting of operational sheets through which to observe the places, defining the typifying factors from a perceptive point of view; (ii) a documental examination of the elements considered in similar studies.
The first activity was carried out on a specific territory, corresponding to the study area of the research project, allowing an initial series of elements to be defined by direct analysis. The second involved the analysis of other research studies, which proposed the definition of certain aspects characterising the environment or buildings, but did not find a complete and exhaustive case study. Nevertheless, through integration and hybridisation of the information obtained from the two investigations, a general approach was defined with the aim of developing an unprecedented and innovative interpretative model.

Results: the evaluation matrices
The structures of the theoretical model were materialised through two evaluation matrices:
– matrix of "natural or cultural places-landscapes";
– matrix of "cultural places-facts".
These are tools to be used in the pre-design phase, integrated within an interactive digital platform that simultaneously considers multiple aspects – potential, costs, integration – and multiple locations within the territory of the potential REC under study. There is, therefore, a need for such matrices to be streamlined, flexible yet effective schemes. Therefore, the factors to be considered have been summarised as:
– location of the typifying elements and/or morphology of the buildings;
– position of the objects in relation to the context;

01 | Rapporto tra osservatore e elementi caratterizzanti, schema degli Autori
Relationship between observer and characterising elements, Authors' scheme



– context and object colouring.

Natural or cultural places-landscapes matrix

In such a context, the typifying elements concern trees, meadows, emergencies, and other facts that make a given place identifiable in the community's imagination, and which guarantee its "value". In order to preserve their overall character, it is necessary to identify their position in relation to the observer's viewpoint so as not to obstruct or alter it by inserting new objects (Fig. 1).

The application of the matrix (Tab. 1) provides for the characterisation of the place through the identification of typifying elements, their location and the main chromatics at different heights – also considering aspects of seasonality – so that the colour of potential objects can be compared with that of the context in which they are placed.

Specifically, the context-related information is:

– the "location of the typifying element" that can be considered at the three heights of "on the ground", "on the horizon", and "high", which may correspond, for example, to: 0-1m; < 5m; > 5m, respectively;
– the "position values" (for example from a minimum of 1 to a maximum of 3) expressing the quality of the relationship between the position of the object and that of the typifying element;
– the "chromaticity of the place" at different positions (on the ground, on the horizon and high up);
– "colour coefficients" (for example from 0.1 to 1) indicating the level of chromatic integration between the colour of the object and the chromaticity of the context at specific locations.

Subsequently, the objects to be evaluated and compared are characterised by:

– location (on the ground, on the horizon, high up);
– colouring.

Tab. 01 | Matrice luoghi-paesaggi naturali o culturali, schema degli Autori
Matrix of natural or cultural places-landscapes, Authors' scheme

– i "valori di posizione" (ad esempio da un minimo di 1 ad un massimo di 3) che esprimono la qualità del rapporto tra la posizione dell'oggetto e quella dell'elemento tipizzante;
– i "cromatismi del luogo" alle diverse posizioni (al suolo, sull'orizzonte e alta);
– i "coefficienti di colorazione" (ad esempio da 0,1 ad 1) che indicano il livello di integrazione cromatica tra il colore dell'oggetto e il cromatismo del contesto alle specifiche localizzazioni.

Successivamente gli oggetti da sottoporre a valutazione e confronto si caratterizzano attraverso:
– la posizione di installazione (al suolo, sull'orizzonte, alta);
– la colorazione.

Con queste informazioni la matrice risulta popolata ed è possibile procedere alla valutazione comparativa dei potenziali sistemi da installare. Il calcolo del livello di integrazione complessiva per ogni singolo oggetto si ottiene dalla moltiplicazione tra il valore "A", ottenuto dall'abbinamento tra la posizione dell'oggetto e la localizzazione dell'elemento tipizzante, e il valore "B", equivalente al coefficiente di colorazione definito dalla relazione tra colore dell'oggetto e cromatismo del contesto.

L'esempio esplicativo di figura 2 analizza un possibile luogo-paesaggio naturale in relazione a tre soluzioni di pannelli fotovoltaici. Le caratteristiche del contesto vedono l'elemento tipizzante in posizione alta (fronde di un bosco di faggi) con i seguenti cromatismi: verde a livello del suolo (prato), marrone all'orizzonte (fusto dei faggi) e rosso in alto (*foliage* degli alberi). Le soluzioni di fotovoltaico confrontate sono: (a) pannelli rossi posizionati su struttura alta; (b) pannelli blu ad altezza media; (c) pannelli blu a terra. Data la posizione alta dell'elemento tipizzante (*foliage*) e le caratteristiche a contorno, è possibile stabilire che la scelta degli oggetti (a) o (b) garantisce la migliore integrazione ambientale (Tab. 2). Infatti, nonostante il posizionamento non ottimale, gli oggetti (a) e (b) presentano rispettivamente un ottimo e un medio rapporto cromatico con il contesto naturale. Al contrario, malgrado una migliore posizione, l'oggetto (c) non presenta un coefficiente di colore tale da garantire l'integrazione con i cromatismi dell'elemento tipizzante e del contesto.

Matrice dei luoghi-fatti culturali

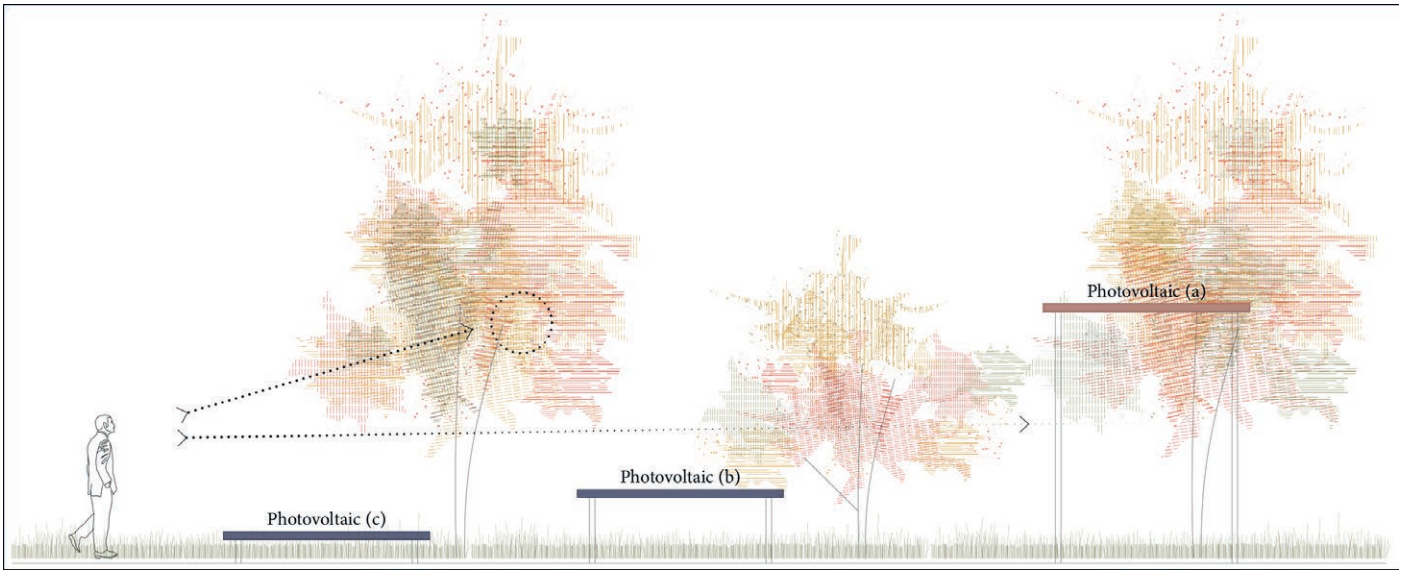
La seconda matrice riguarda il livello di integrazione degli impianti fotovoltaici installati su "elementi culturali", cioè il rapporto tra i sistemi di produzione energetica con gli oggetti frutto dell'attività umana – quali edifici o altre costruzioni – considerati come portatori di significato. Questa matrice definisce, in modo astratto, le possibili casistiche di edifici e le relative possibili soluzioni di installazione degli oggetti per la produzione

Tab. 01 |

characterisation of the "place"	possible characteristics of the "object"		characteristics of the "object" and evaluation			
			object 1	object 2	object n.	
location of the typifying element	possible characteristics of the "object" in relation to its position in the context		position	position	position	
on the ground, on the horizon, high up	0 - 1m	position value (1 to 3)				A
	< 5m	position value (1 to 3)				
	> 5m	position value (1 to 3)				
chromaticity of the "place"	coefficient based on the relationship between "place" and "object" colouring		colour	colour	colour	
chromaticity of the context on the ground	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				B
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
chromaticity of the context on the horizon	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
chromaticity of the context high up	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
			value A*B	value A*B	value A*B	

02 | Caso esplicativo della matrice luoghi-paesaggi naturali, schema degli Autori
Explanatory case of the natural or cultural places-landscapes matrix, Authors' scheme

Tab. 02 | Applicazione della matrice al caso di figura 2, schema degli Autori
Application of the matrix to the case of figure 2, Authors' scheme



| 01

| Tab. 02

characterisation of the "place"	possible characteristics of the "object"		characteristics of the "object" and evaluation			
			photovoltaic (a)	photovoltaic (b)	photovoltaic (c)	
location of the typifying element	possible characteristics of the "object" in relation to its position in the context		high	medium	low	
high up	0 - 1m	3			3	A
	< 5m	2		2		
	> 5m	1	1			
chromaticity of the "place"	coefficient based on the relationship between "place" and "object" colouring		red	blue	blue	
chromaticity of the context on the ground: green	red	0.5			0.1	B
	blue	0.1				
chromaticity of the context on the horizon: brown	red	0.1		0.5		
	blue	0.5				
chromaticity of the context high up: red	red	1	1			
	blue	0.1				
			1	1	0.3	

The matrix is populated with this information, and a comparative evaluation of the potential systems to be installed in the context can be carried out. The calculation of the overall integration level for each individual object is obtained by multiplying the "A" value, obtained by matching the position of the object and the location of the typifying aspect, and the "B" value, equivalent to the colouring coefficient defined by the relationship between the colour of the object and the chromaticity of the context.

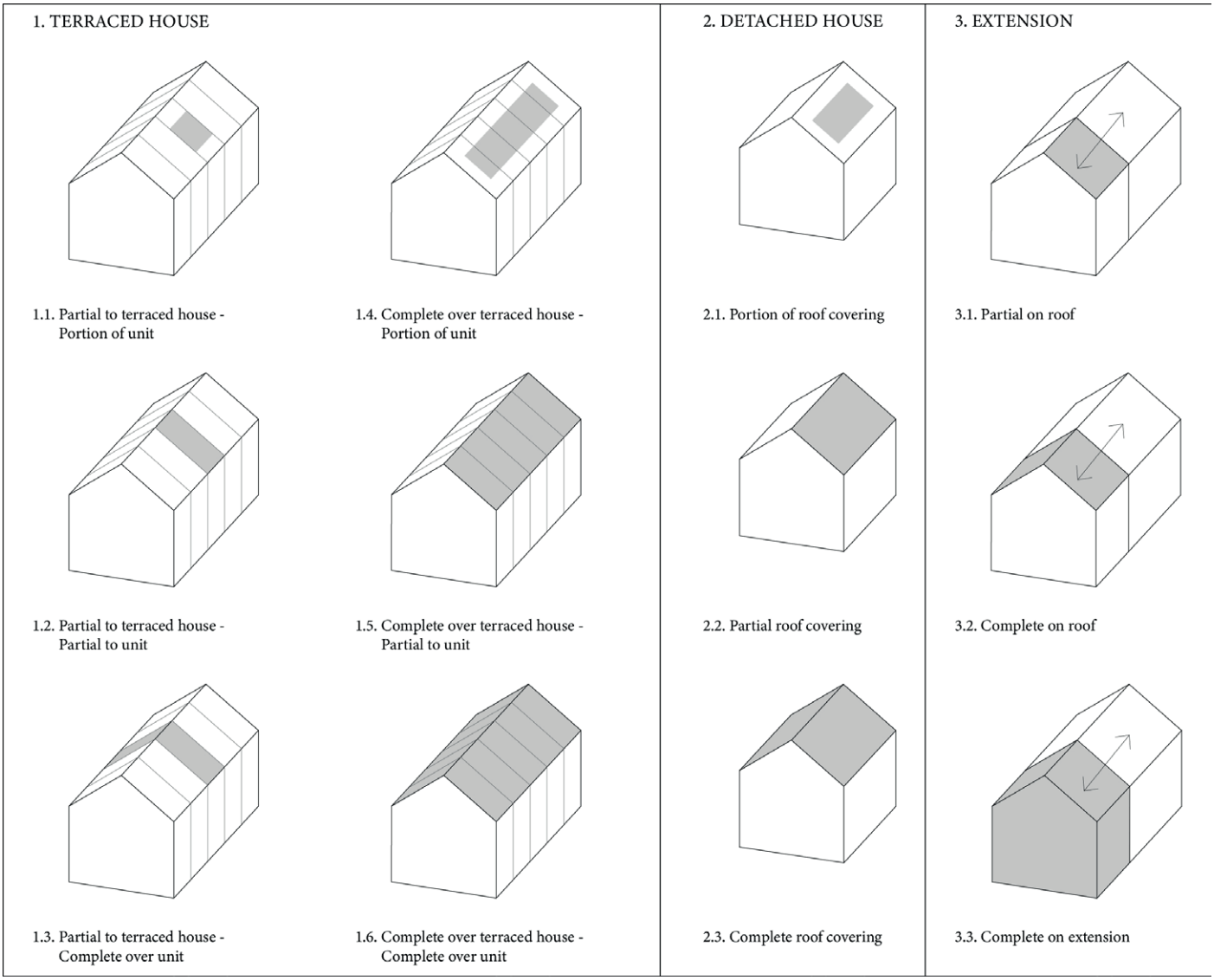
The explanatory example from figure 2 analyses a possible natural landscape location in relation to three photovoltaic solutions. The characteristics of the context see the characterising element in a high position (foliage of a beech forest) with the following colours: green at ground level (meadow), brown on the horizon (trunks of the beech trees), and red at the top (foliage of the trees). The photovoltaic solutions compared are: (a) red panels positioned on high structure; (b) blue panels at medium height; (c) blue panels at ground level. Given the high position of the typifying element (foliage) and the contour characteristics, it can be established that the choice of objects (a) or (b) guarantees the best environmental integration (Tab. 2). In fact, despite their less-than-optimal positioning, objects (a) and (b) respectively present an excellent and average colour relationship with the natural context. Conversely, in spite of a better position, object (c) does not present a colour coefficient such as to guarantee integration with the colours of the typifying element and the context.

Cultural places-facts matrix

The second matrix concerns the level of integration of photovoltaic systems installed on "cultural elements", that is the relationship between energy production systems and objects resulting from human activity – such as buildings or other constructions – considered as bearers of meaning. This

03 | Schema esemplificativo del rapporto tra edificio e PV, schema degli Autori
Explanatory diagram of the relationship between building and PV, Authors' scheme

03 |



matrix defines, in an abstract way, the possible case histories of buildings and their possible installation solutions for renewable energy production. Three macro categories were identified in the context studied, namely terraced houses, detached houses and extension volumes (Fig. 3). These macro categories present more combinations in terms of the position of energy production systems in relation to the volume.

The characteristics considered for the places-landscapes matrix are those of the location where the objects are installed, and chromaticity (Tab. 3). Similarly, context and object information are placed within the matrix according to the specific site of application, and concerns:

– definition of the "type of building" and the "position of the object" in relation to it (to be selected according to the previously defined cases);
– "position values" (e.g. from a minimum of 1 to a maximum of 3) expressing the quality of the relationship between the position of the object and the type of building;
– "chromaticity of the building" with respect to its elements (roof and façade) and the "chromaticity of the surroundings" (whether natural or cultural);
– "colour coefficients" (e.g. 0.1 to 1) indicating the level of harmony between the colour of the object and the chromaticism of both the building and its surroundings.

Each object to be assessed is characterised by:

– its installation position;
– its colour.

The evaluation of the position of the objects in relation to the cultural elements analysed results in a value ("A" value). The characteristic of chromaticism, instead, considers both the installation position on the building and the chromatic interactions with the landscape. It provides a series of colouring coefficients from which an average value (value "B") is obtained. The overall integration level is thus obtained by multiplying the "A" and "B" values.

The illustrative example analyses three photovoltaic panel solutions on a building with a continuous front in a natural context (Fig. 4). The assumed installation solutions are:

– on the roof, using only one of the two fronts (type 1.2.);
– on the roof, using the pitches of one of the two fronts, positioning the panels on all the housing units of the volume (type 1.5.);
– on the roof and on the façade on a possible external addition (type 3.3.).

The building considered as an example has a tiled roof (red) and plastered façades (white); the context has a predominantly green colour scheme. The object solutions compared are: (a) red photovoltaic panels on the roof; (b) transparent photovoltaic panels on the roof; (c) blue photovoltaic panels on the roof and façade. Given the type of building considered here (continuous façade), it can be established that the choice of object (b) provides the best environmental integration (Tab. 4). The scenario of an application of transparent photovoltaic panels on an entire pitch of the continuous façade achieves a higher level of colour integration than an application of blue photovoltaic panels on an additional volume – object (c). Furthermore, despite the same value in terms of colour coefficient with object (a), (b) receives a higher score for

Tab. 03 | Matrice dei luoghi-fatti culturali, schema degli Autori
Matrix of cultural places-facts, Authors' scheme

di energie rinnovabili. Nel caso del contesto studiato sono state individuate tre macrocategorie: edifici a schiera, edifici isolati e volumi in addizione (Fig. 3). Queste macrocategorie presentano più combinazioni in termini di posizione dei sistemi di produzione energetica rispetto al volume.
Le caratteristiche considerate, come per la matrice dei luoghi-paesaggi culturali, sono quelle della posizione di installazione degli oggetti e i cromatismi (Tab. 3). Ugualmente, le informazioni in merito al contesto e agli oggetti sono inserite all'interno della matrice in base al luogo specifico di applicazione e riguardano:
– definizione del "tipo di edificio" e della "posizione dell'oggetto" rispetto a questo (da selezionare in base alle casistiche precedentemente definite);
– i "valori di posizione" (ad esempio da un minimo di 1 ad un massimo di 3) che esprimono la qualità del rapporto tra la posizione dell'oggetto e il tipo di edificio;
– i "cromatismi dell'edificio" rispetto ai suoi elementi (tetto e facciata) e i "cromatismi dell'intorno" (sia esso naturale o culturale);
– i "coefficienti di colorazione" (ad esempio da 0,1 ad 1) che indicano il livello di armonia tra il colore dell'oggetto e i cromatismi sia dell'edificio che del contesto.

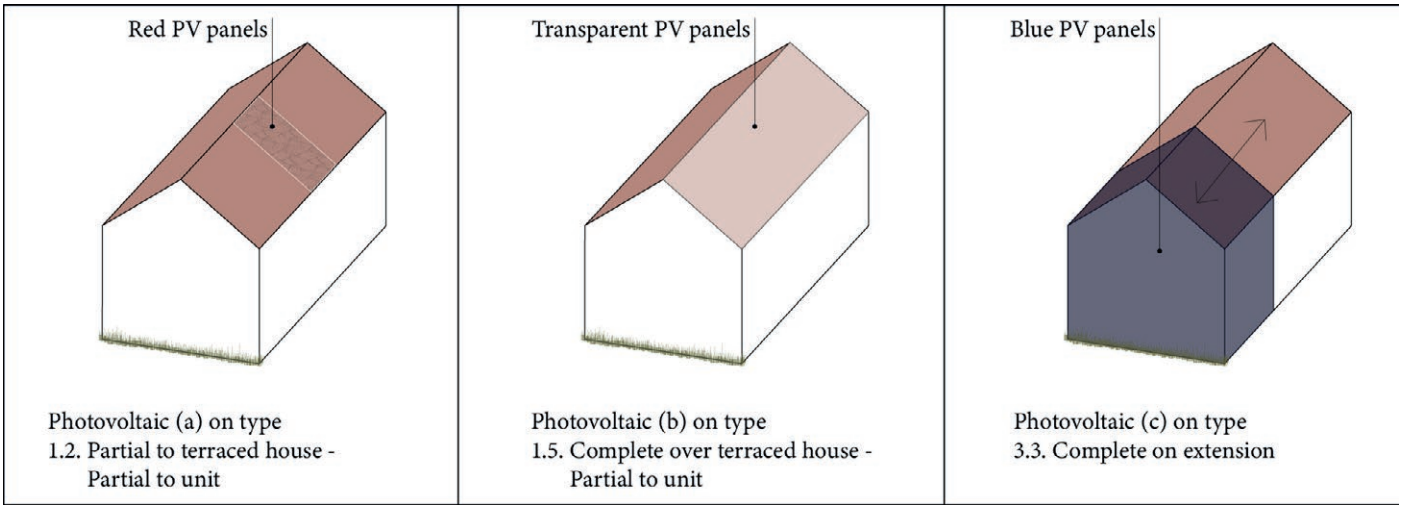
Ciascun oggetto da valutare è caratterizzato da:
– la posizione di installazione;

| Tab. 03

characterisation of the "building" and "place"			characteristics of the "object" and evaluation			
			object 1	object 2	object n.	
types of building and "object" positioning	evaluation of the "object" in relation to its position on the building		position	position	position	
1.1.	position value (1 to 3)					A
1.2.	position value (1 to 3)					
1.3.	position value (1 to 3)					
1.4.	position value (1 to 3)					
1.5.	position value (1 to 3)					
1.6.	position value (1 to 3)					
2.1.	position value (1 to 3)					
2.2.	position value (1 to 3)					
2.3.	position value (1 to 3)					
3.1.	position value (1 to 3)					
3.2.	position value (1 to 3)					
3.3.	position value (1 to 3)					
chromaticity of building and location	coefficient based on the relationship between "building/context" and "object" colouring		colour	colour	colour	
chromaticity of the roof (analysed building)	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				B
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
chromaticity of the façade (analysed building)	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
chromaticity of the (urban) context	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
chromaticity of the (natural) context	colour 1	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour 2	colour coefficient (0.1 to 1)				
	colour n.	colour coefficient (0.1 to 1)				
			value A*B	value A*B	value A*B	

04 | Caso esplicativo della matrice dei luoghi-fatti culturali, schema degli Autori
Explanatory case of the cultural places-facts matrix, Authors' scheme

04 |



– la sua colorazione.

La valutazione della posizione degli oggetti rispetto agli elementi culturali analizzati permette di ottenere un valore (valore "A"). La caratteristica del cromatismo, invece, considera sia la posizione di installazione sull'edificio che le interazioni cromatiche con il paesaggio, e fornisce una serie di coefficienti di colorazione dai quali ricavare un valore medio (valore "B"). Il livello di integrazione complessiva si ottiene dunque dalla moltiplicazione tra valore "A" e "B".

L'esempio esplicativo analizza tre soluzioni di pannelli fotovoltaici su un edificio con fronte continuo in contesto naturale (Fig. 4). Le soluzioni di installazione ipotizzate sono:

– in copertura sfruttando una sola delle due falde di proprietà di una sola unità abitativa (tipo 1.2.);
– in copertura utilizzando le falde di uno dei due fronti, posizionando i pannelli su tutte le unità abitative parte del volume (tipo 1.5.);
– in copertura e in facciata su una possibile addizione esterna (tipo 3.3.).

L'edificio considerato come esempio presenta una copertura in coppi (rosso) e facciate intonacate (bianco): il contesto ha un cromatismo predominante verde. Le soluzioni di oggetti confrontate sono: (a) pannelli fotovoltaici rossi in copertura; (b) pannelli fotovoltaici trasparenti in copertura; (c) pannelli fotovoltaici blu in copertura e facciata. Dato il tipo di edificio qui considerato (fronte continuo) è possibile stabilire che la scelta dell'oggetto (b) garantisce la migliore integrazione ambientale (Tab. 4). Lo scenario di applicazione di pannelli fotovoltaici trasparenti su un'intera falda del fronte continuo consente di raggiungere un livello di integrazione cromatica più alto rispetto ad un'applicazione di pannelli fotovoltaici blu su di un volume in addizione – oggetto (c). Inoltre, nonostante lo stesso valore in termini di coefficiente di colore con l'oggetto (a), il (b) riceve un punteggio maggiore per l'installazione più omogenea sulla superficie di copertura.

the more homogenous installation on the roof surface.

Conclusions and future developments

The interpretative model for interpreting the environmental integration of photovoltaic systems and the corresponding application matrices are the outcome of an initial experimental development phase. Hence the need to validate the matrices' assumptions by verifying that their application to real cases give results in line with the actual perception and sensitivity of the communities concerned. This is an activity already planned within the PANORAMA project to be carried out through tests on a significant sample of users who are asked to evaluate a series of digital simulations of possible installations of energy systems in the landscape and on buildings.

The matrices, recalibrated on the basis of the indications that will emerge from the validation process, are one of the pieces of the multi-criteria tool that will be made available to institutions, public bodies and communities of citizens interested in activating a process to establish a REC. PANORAMA, as a matter of fact, is not an ex-post verification protocol, but a decision-making and proactive tool. It allows for the analytical analysis of a wide range of possible solutions by returning, through a multi-criteria evaluation, a targeted selection of scenarios suited to the specific context both in terms of technical-economic feasibility and landscape. By providing the necessary information to draft the final project, criticalities related to design and procedural aspects are overcome, thus facilitating the realisation of energy communities. Hence, the decision-making process shifts to implementation thanks to the information content provided by the tool.

NOTES

[1] "PANORAMA – PiANificazione di cOmunità eneRgetiche AMbientalmente e pAesaggisticamente sostenibili" is a research project funded by the Interreg VI-A Italy-Austria 2021-2027 programme.

ATTRIBUTION AND ACKNOWLEDGMENTS

The research is carried out within project PANORAMA, funded by the cooperation programme Interreg VI-A Italy-Austria 2021-2027; partners: Università Iuav di Venezia (principal investigator M. Condotta, coordination C. Scanagatta), University of Udine (Lead partner), Research Studio Austria, BIM Piave, CML S.r.l., CONSORZIO NIP, Okstromborse Salzburg.

The contribution is the result of the joint research of the two Authors. A special thanks to A. Rampazzo for the graphic elaborations.

Tab. 04 | Applicazione della matrice al caso di figura 4, schema degli Autori
Application of the matrix to the case of figure 4, Authors' scheme

Conclusioni e sviluppi futuri

Il modello teorico per l'interpretazione dell'integrazione ambientale degli impianti fotovoltaici e le corrispondenti matrici applicative sono l'esito di una prima fase sperimentale di sviluppo. È pertanto necessario validare le assunzioni che sono alla base delle matrici stesse verificando che la loro applicazione restituisca risultati in linea con la reale percezione e la sensibilità delle comunità interessate. Si tratta di un'attività già programmata all'interno del progetto PANORAMA da svolgersi attraverso test su un campione significativo di utenti ai quali è chiesto di valutare una serie di simulazioni digitali di possibili installazioni di sistemi energetici nel paesaggio e su edifici.
Le matrici, ricalibrate sulla base delle indicazioni emerse dal processo di validazione, rappresentano uno dei tasselli del *tool* multicriterio che verrà messo a disposizione di istituzioni, enti pubblici e comunità di cittadini interessati nell'avviare un processo di costituzione di una CER. PANORAMA, infatti, non va inteso come protocollo di verifica a posteriori, ma bensì come strumento decisionale e proattivo. Esso consente di analizzare in modo analitico un'ampia casistica di possibili soluzioni restituendo, mediante una valutazione multicriterio, una selezione mirata di scenari adeguati allo specifico contesto sia in termini di fattibilità tecnico economica sia paesaggisticamente. Fornendo le informazioni necessarie per procedere alla stesura del progetto definitivo si superano criticità legate ad aspetti progettuali e procedurali agevolando la realizzazione di comunità energetiche: il processo decisionale diviene dunque attuativo grazie ai contenuti informativi forniti dallo strumento.

NOTE

[1] "PANORAMA – PiANificazione di cOmunità eneRgetiche AMbientalmente e pAesaggisticamente sostenibili" è un progetto di ricerca finanziato dal programma Interreg VI-A Italia-Austria 2021-2027.

RICONOSCIMENTI E ATTRIBUZIONE

La ricerca è svolta all'interno del progetto PANORAMA, finanziato dal programma di cooperazione Interreg VI-A Italia-Austria 2021-2027; partner: Università Iuav di Venezia (resp. scientifico M. Condotta, coordinamento C. Scanagatta), Università degli Studi di Udine (Lead partner), Research Studio Austria, BIM Piave, CML S.r.l., CONSORZIO NIP, Okstromborse Salzburg.

Il contributo è il risultato di una ricerca congiunta dei due Autori. Si ringrazia A. Rampazzo per le elaborazioni grafiche.

REFERENCES

Condotta, M. (2024), *Sustĭnēre. Luogo, architettura e progettazione ambientale sostenibile*, Anteferma Edizioni, Conegliano.

De Medici, S. (2021), "Italian Architectural Heritage and Photovoltaic Systems. Matching Style with Sustainability", *Sustainability*, Vol. 13, n. 4, article no: 2108. Available at: https://dx.doi.org/10.3390/su13042108.

Tab. 04

characterisation of the "building" and "place"			characteristics of the "object" and evaluation			
			photovoltaic (a)	photovoltaic (b)	photovoltaic (c)	
types of building and "object" positioning	evaluation of the "object" in relation to its position on the building		roofing	roofing	roofing and façade	
1.2.	1		1			A
1.5.	2			2		
3.3.	3				3	
chromaticity of building and location	coefficient based on the relationship between "building/context" and "object" colouring		red	transparent	blue	
chromaticity of he roof: red	red	1	1	1	0.1	B
	blue	0.1				
	transparent	1				
chromaticity of the façade: white	red	0.5			0.5	
	blue	0.5				
	transparent	1				
chromaticity of the (natural) context: green	red	1			0.1	
	blue	0.1				
	transparent	1				
			1	2	0.7	

Enserink, M., Van Etteger, R., Van den Brink, A. and Stremke, S. (2022), "To support or oppose renewable energy projects? A systematic literature review on the factors influencing landscape design and social acceptance", *Energy Research & Social Science*, Vol. 91, article no: 102740. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2022.102740.

Kang, N. and Liu, C. (2022), "Towards landscape visual quality evaluation: methodologies, technologies, and recommendations", *Ecological Indicators*, Vol. 142, article no: 109174. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109174.

Lobaccaro, G. Croce, S., Lindkvist, C., Munari Probst, M.C., Scognamiglio, A., Dahlberg, J., Lundgren, M. and Wall, M. (2019), "A cross-country perspective on solar energy in urban planning: Lessons learned from international case studies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 108, pp. 209–237. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.041.

Lothian, A. (1999), "Landscape and the philosophy of aesthetics: Is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of the beholder?", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 44, n. 4, pp. 177-198. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00019-5

Lucchi, E. (2022), "Integration between photovoltaic systems and cultural heritage: A socio-technical comparison of international policies, design criteria, applications, and innovation developments", *Energy Policy*, Vol. 171, article no: 113303. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113303.

Lynch K. (2001), *L'immagine della città*, 17th ed., Marsilio Editori, Venezia.

Salak, B., Lindberg, K., Kienast, F. and Hunziker M. (2021), "How landscape-technology fit affects public evaluations of renewable energy infrastructure scenarios. A hybrid choice model", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 143, article no: 110896. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2021.110896.

Spyridonidou, S., Loukogeorgaki, E., Vagiona, D.G. and Bertrand, T. (2022), "Towards a Sustainable Spatial Planning Approach for PV Site Selection in Portugal", *Energies*, Vol. 15, article no: 8515. Available at: https://dx.doi.org/10.3390/en15228515.

Tena, P.A. and García-Esparza, J.A. (2019), "The Heritagization of a Mediterranean Vernacular Mountain Landscape: Concepts, Problems and Processes", *Heritage & Society*, Vol. 11, n. 3, pp. 189–210. Available at: https://dx.doi.org/10.1080/2159032x.2019.1670533.

Toledo, C. and Scognamiglio, A. (2021), "Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)", *Sustainability*, Vol. 13, article no: 6871. Available at: https://dx.doi.org/10.3390/su13126871.

Wolsink, M. (2018), "Co-production in distributed generation: renewable energy and creating space for fitting infrastructure within landscapes", *Landscape Research*, Vol. 43, n. 4, pp. 542-561. Available at: https://dx.doi.org/10.1080/01426397.2017.1358360.

City Harvest: Progettazione di servizi e spazi intelligenti con comunità collaborative per la produzione alimentare

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Aysegul Ozbakir Acimert, https://orcid.org/0000-0002-1994-439X aysegul.ozbakir@georgebrown.ca
Matthew Hexemer matthew.hexemer@georgebrown.ca
Soundharya Shivamadaiah, https://orcid.org/0009-0005-1158-4317 soundharya.shivamadaiah@georgebrown.ca
Dhruvkumar Patel, https://orcid.org/0009-0000-2797-8525 dhruvkumar.patel@georgebrown.ca
Derek Schmucker, https://orcid.org/0009-0007-2275-8823 derekschmucker@gmail.com
Brookfield Sustainability Institute, George Brown College, Canada

Abstract. L'insicurezza alimentare si sta aggravando a causa dei cambiamenti climatici, mentre l'agricoltura contribuisce a circa il 37% delle emissioni globali di gas serra (GHG). Inoltre, le attività correlate alla perdita e allo spreco di cibo hanno generato 9,3 Gt di CO_2-e nel 2017, rappresentando circa la metà delle emissioni annuali globali dell'intero sistema alimentare. Nonostante siano state sviluppate numerose politiche, rimane poco chiaro in che modo le città possano dare il proprio contributo. L'obiettivo di questo articolo è presentare un modello sostenibile e basato sui dati per la progettazione di servizi alimentari urbani che vada oltre la semplice decarbonizzazione: *City Harvest*. Gli elementi progettuali integrati su scala di quartiere comprendono: a. strutture agricole verticali basate sul suolo; b. *kit* di coltivazione indoor residenziali che gestiscono anche i rifiuti organici; c. una piattaforma di conoscenza basata su AI e *Web*-GIS per attività di co-creazione comunitaria.

Parole chiave: Produzione alimentare urbana; Intelligenza Artificiale (AI); Sistemi Informativi Geografici (GIS); Co-Produzione; Innovazione urbana.

Insicurezza alimentare urbana, cambiamenti climatici e il ruolo delle città

Negli ultimi decenni, le tendenze globali evidenziano sviluppi allarmanti riguardo alla malnutrizione, incluso un rapido aumento dell'inaccessibilità al cibo. Sebbene vi siano numerosi appelli globali, nazionali e locali per ripensare l'uguaglianza nell'accesso al cibo e combattere l'insicurezza alimentare, i problemi persistono. Secondo la FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura), l'"insicurezza alimentare" è definita come la mancanza di accesso regolare a quantità sufficienti di cibo sicuro e nutriente, necessarie per una crescita e uno sviluppo normali, nonché per una vita attiva e sana (FAO, 2023). Oltre alla complessità del concetto, le evidenze scientifiche indicano che l'insicurezza alimentare sta peggiorando a causa dei cambiamenti climatici. L'agricoltura, infatti, è responsabile di circa il 37% delle emissioni globali di gas serra (Mbow *et al.,* 2019). Inoltre, le attività legate alla perdita e allo spreco di cibo hanno generato 9,3 Gt di CO_2-e nel 2017, rappresentando circa la metà delle emissioni annuali totali del sistema alimentare globale.

Nonostante molte politiche siano state progettate e applicate per ridurre l'insicurezza alimentare, resta poco chiaro come le città possano svolgere un ruolo cruciale in questo contesto. Tra i tentativi più significativi intrapresi dai governi locali, la città di Toronto guida numerose iniziative per migliorare la sicurezza alimentare dei residenti. Politiche come il "*GrowTO*", la Strategia per la Riduzione della Povertà[1], la Carta Alimentare di Toronto[2], il Piano per la Sovranità Alimentare Nera[3] e il Piano di Azione per la Riconciliazione[4] svolgono ruoli critici. Allo stesso modo, la città di Montréal ha sviluppato un progetto per rafforzare la resilienza del sistema alimentare attraverso una strategia commerciale per l'agricoltura urbana e un piano d'azione (Ville de Montréal, 2018[5]).

Un'altra iniziativa è stata intrapresa nel 2015 dai funzionari di Milano con il Patto di Politica Alimentare Urbana di Milano, che ha invitato altre città a unirsi. Secondo la dichiarazione politica, la crisi planetaria derivante da ambienti insostenibili influenzerà inevitabilmente "il compito di nutrire le città" (Stahlbrand and Roberts, 2022). Parte di queste discussioni esplora anche il concetto di "deserti alimentari", che indica l'i-

City Harvest: Smart service and place design with collaborative communities on food production

Abstract. Food Insecurity is worsening due to climate change, and agriculture contributes to an estimation of 37% of global GHG emissions. Food loss and waste related activities emitted 9.3Gt of CO_2-e in 2017, which accounted for about half of the global annual emissions from the whole food system. Although many policies have been designed, it is still unclear how cities can do their part. The objective of this paper is to introduce a data-driven and sustainable urban food service design that extends beyond decarbonisation, namely 'City Harvest'. Integrated design elements at neighbbourhood scale are: a. soil-based vertical farming structures; b. residential indoor growing kits that also process organic waste; c. AI and Web-GIS-based knowledge platform for community co-creation activities.

Keywords: Urban Food Production; AI; GIS; Co-Production; Urban Innovation.

Urban Food Insecurity, Climate Change and the Role of Cities

In recent decades, global trends indicate alarming news concerning malnutrition, including a rapid rise in food inaccessibility. Although there are many global, national and local calls for the new ways of thinking about equality in food access and food insecurity, problems still remain. According to the FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations), "Food Insecurity" is defined as the lack of regular access to enough safe and nutritious food for normal growth and development, and an active and healthy life (FAO, 2023). In addition to the complexity of the concept, scientific evidence also indicates that food insecurity is worsening due to climate change, and agriculture contributes to an estimation of 37% of global GHG emissions (Mbow *et al.,* 2019). Besides, food loss and waste related activities emitted 9.3 Gt of CO_2-e in 2017, which accounted for about half of the global annual emissions from the whole food system globally.

Although many policies have been designed and applied to reduce food insecurity, it is still unclear how cities can do their parts. Being one of the significant attempts by city governments around the world, City of Toronto leads many initiatives that improve food security for residents. "GrowTO, 'Poverty Reduction Strategy[1],'Toronto Food Charter[2], 'Black Food Sovereignty Plan[3] and 'Reconciliation Action Plan[4] play critical roles among such policies. Similarly, the City of Montreal has also developed a project that can support food system resilience towards a commercial urban agricultural strategy and action plan (Ville de Montreal, 2018[5]). Another attempt

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16574

naccessibilità a cibi freschi e a prezzi accessibili in una comunità e uno stato di "esclusione" (Cummins and Macintyre, 2002). Sebbene il termine "deserto" fosse ampiamente utilizzato dai geografi umani nel Regno Unito negli anni '50 per descrivere la mancanza di servizi urbani come banche, pub e centri sociali in un quartiere, il concetto di "deserto alimentare" è diventato un argomento di dibattito importante tra ricercatori e decisori politici negli anni '90, quando è stato osservato un calo netto del numero di negozi di alimentari locali rispetto agli anni '50, in parallelo alla crescita delle catene di supermercati (Shaw, 2003). D'altro canto, Gonzales (2012) osserva: «Anche se molti residenti a basso reddito vivono a 'pochi chilometri' da un negozio di alimentari, il cibo potrebbe non essere economicamente accessibile. Inoltre, raggiungere quel negozio potrebbe risultare molto più complicato e dispendioso in termini di tempo rispetto a un fast food o a un piccolo negozio di quartiere» (Gonzales, 2012).

Alcuni studi affrontano le preoccupazioni legate al cibo, ai cambiamenti climatici e all'adattamento. Ad esempio, i cambiamenti climatici aumentano la variabilità spaziale e temporale nei modelli di produzione alimentare, influenzando la disponibilità di cibo. I prezzi alimentari potrebbero inoltre fluttuare in misura maggiore, con implicazioni significative sull'accessibilità. Esistono ancora numerose lacune conoscitive riguardo a come i cambiamenti climatici influenzeranno la volatilità e la stabilità dei sistemi alimentari globali e la sicurezza alimentare, in particolare in relazione all'accesso e all'uso del cibo (Myers *et al.,* 2017). «Le strategie municipali che considerano la sicurezza alimentare nel contesto dei cambiamenti climatici spesso si concentrano sull'aumento dell'autosufficienza dei sistemi alimentari locali e regionali; questi sistemi possono diventare un punto di convergenza per creare sinergie tra politiche di adattamento e mitigazione dei gas serra» (Harper *et al.,* 2022).

Nonostante tutte le politiche e le azioni intraprese per affrontare l'insicurezza alimentare, esiste ancora un bisogno urgente di sviluppare approcci operativi, sostenibili, innovativi e olistici che possano connettere gli spazi urbani, allineandoli alla pianificazione per l'adattamento climatico.

I primi tentativi di utilizzare le Soluzioni Basate sulla Natura (NBS) nella riprogettazione delle comunità, inclusi sistemi di produzione alimentare, riciclaggio, trasporto e trattamento delle acque reflue, risalgono alla fine degli anni '80. Tra questi, J. Todd e N. Todd hanno esplorato l'idea delle eco-città, che integrano agricoltura e risorse idriche in contesti urbani verdi, introducendo le "macchine viventi" (*living machines*), interventi tecnologici basati sui principi di biodiversità e pensiero ecologico sistemico (Todd and Todd, 1994).

Nel 2022, un progetto a Milano ha cercato di progettare innovative strutture modulari per l'agricoltura urbana, denominate Agricoltura Verticale Urbana (*Urban Vertical Farming* – UVF), dove la domanda alimentare sarebbe soddisfatta da strutture verticali modulari basate sull'IoT (Orsini, 2022). Esistono altri esempi di progetti di agricoltura verticale in Giappone, Germania, Emirati Arabi Uniti, Hong Kong, Canada, Stati Uniti e Finlandia, dove la produzione regolare e garantita dei raccolti viene migliorata attraverso un ambiente controllato che include temperatura, luce, umidità e intelligenza artificiale in spazi urbani (Igini, 2023). Parallelamente a questi approcci progettuali innovativi, emerge la necessità di ridefinire i codici edilizi e gli standard, progettando nuo-

was made by Milan officials in 2015, known as "Milan Urban Food Policy Pact"; they called on other cities to join them (Milan Urban Food Policy Pact, 2015). According to the policy statement, the planetary crisis of unsustainable environments would surely affect "the task of feeding cities" (Stahlbrand and Roberts, 2022). A part of these discussions also explores the concept of "food deserts", which implies inaccessibility to fresh and affordable food in a community and a state of "exclusion" (Cummins and Macintyre, 2002). While the "desert" has been widely used by human geographers in the UK in the early 1950s to describe the lack of urban facilities such as banks, public houses and social centres in a neighbourhood, "food desert" started to be a rigorous discussion topic among researchers and policy makers when a sharp decline was observed in the number of local grocery stores in the 1990s, compared to the 1950s, and within a transition to supermarket chains (Shaw, 2003). Gonzales (2012) claims that «Even if many low-income residents live within 'a couple of miles' of a grocery store, the food may not be affordable. And getting to that store may be much more difficult and time-consuming than getting to a nearby fast-food restaurant or corner store» (Gonzales, 2012).

Some studies have addressed concerns on food, climate change and adaptation. For example, climate change increases the spatial and temporal variability in food production patterns, which affects food availability. Food prices may also fluctuate to a greater degree, which will have implications for accessibility. Many knowledge gaps exist in terms of how climate change will influence the volatility and stability of global food systems and food security, especially with respect to food access and use (Myers *et al.,* 2017) «Municipal strategies that consider food security in the context of climate change often focus on increasing the self-sufficiency of local and regional food systems; food systems can be a nexus that provides opportunities to achieve synergies between adaptation and GHG mitigation policies» (Harper *et al.,* 2022).

Despite all these policies and actions regarding food insecurity, there is still an urgent need for providing operational, sustainable, innovative and holistic approach that can link urban spaces aligned with climate adaptation planning. Early attempts for using Nature-Based Solutions (NBS) in redesigning communities including food production, recycling, transportation and sewage systems date back to the late 1980s. Among them, J. Todd and N. Todd explored the idea of eco-cities, which integrates agriculture and water in green urban settings, and introduced "living machines", technological interventions grounded in the principles of biodiversity and systems-wide ecological thinking (Todd and Todd, 1994). In 2022, a project in Milan made an effort to design innovative modular urban farming structures called Urban Vertical Farming (UVFs) where the food demand would be supplied by modular and IoT-based vertical structures (Orsini, 2022). Other examples for vertical farming projects exist in Japan, Germany, the United Arab Emirates, Hong Kong, Canada, the US and Finland where guaranteed regular production of output and crop yields are boosted based on controlled environment including temperature, light, humidity, and artificial intelligence in urban

01 | *System Map* del *City Harvest*
City Harvest System Map

ve infrastrutture e regolamenti su scala urbana (Lovell, 2022). Tuttavia, è noto che le differenze geografiche, economiche e sociali tra le diverse città nel mondo determinano il successo o il fallimento di queste pratiche di agricoltura urbana, sia indoor che outdoor (Negrello, 2024).

Problema di ricerca
Secondo il Comune di Toronto, quasi un abitante su quattro (24,1%) vive in nuclei familiari caratterizzati da insicurezza alimentare. Il rischio di insicurezza alimentare è maggiore per le persone con redditi bassi o che ricevono assistenza sociale, per gli individui appartenenti a minoranze etniche (in particolare coloro che si identificano come neri o indigeni), per chi vive in affitto anziché in proprietà e per i genitori single. Di conseguenza, è fondamentale sviluppare un sistema alimentare urbano resiliente che affronti l'insicurezza alimentare attraverso l'innovazione sociale e tecnologica. La principale domanda di ricerca alla base di questo studio è: "Come progettare un sistema alimentare sostenibile che migliori la sicurezza alimentare e la qualità della vita nelle comunità urbane, adottando una prospettiva olistica?"

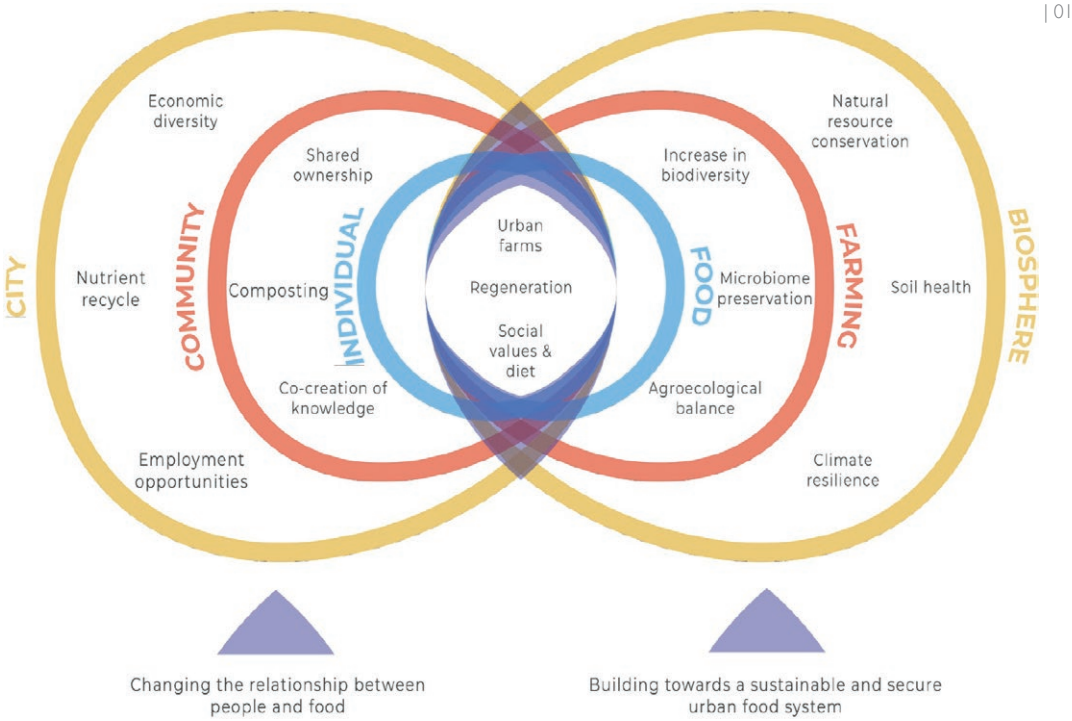
Obiettivi della ricerca
Sulla base di un'ampia revisione della letteratura e della domanda di ricerca, l'obiettivo principale di questo studio è introdurre un design sostenibile e basato sui dati per servizi e spazi alimentari urbani che vada oltre la semplice decarbonizzazione: "*City Harvest*: un Sistema Alimentare Urbano Resiliente".

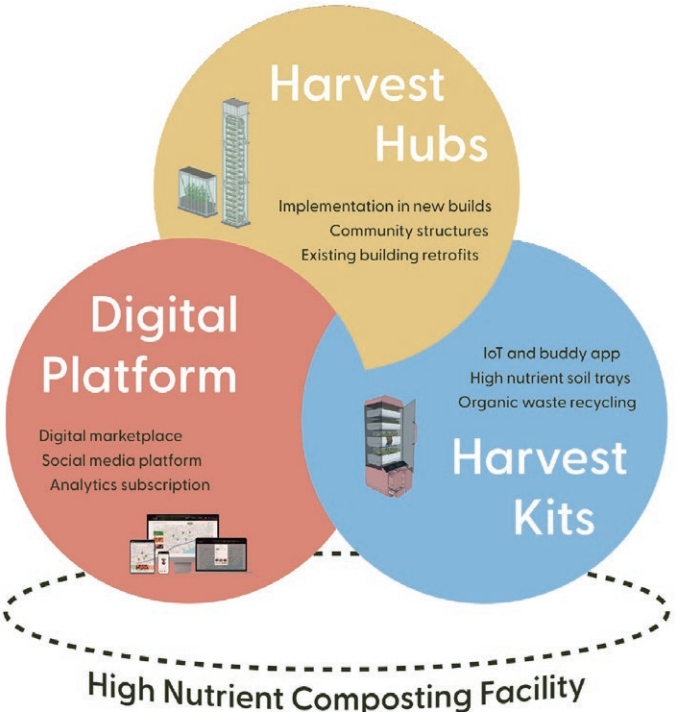
Strategia di Progettazione di City Harvest

La strategia di *City Harvest* si concentra su tre obiettivi principali: agricoltura urbana, rigenerazione del suolo e connessioni sociali. Promuovendo l'agricoltura urbana, il progetto mira a portare la produzione alimentare più vicina alle comunità, dando loro il potere di gestire direttamente le proprie fonti di cibo. Riconoscendo l'urgenza del degrado del suolo, *City Harvest* mira a chiudere il ciclo dei nutrienti, trasformando il flusso dei nutrienti in un sistema circolare che supporti l'agricoltura sostenibile (Fig. 1). Parallelamente, la piattaforma digitale funge da archivio di conoscenze alimentari multiculturali e dati geospaziali sulla crescita della produzione alimentare. Questa piattaforma offre l'opportunità di favorire connessioni sociali, aumentando la consapevolezza delle persone riguardo al cibo, ai nutrienti e alla biodiversità, consentendo loro di fare scelte alimentari più sane.

Ecosistema del prodotto
L'ecosistema di prodotto di *City Harvest* è composto da tre pilastri principal (Fig. 2):
1. *Harvest Kits*;

| 01





2. *Harvest Hubs*;
3. *Food Connect*.

Ogni pilastro è progettato per affrontare diverse scale del sistema, partendo dall'individuo, passando per il quartiere, fino a raggiungere la scala cittadina. I dettagli di ciascun pilastro sono descritti in modo approfondito nelle sezioni seguenti.

Metodologia

Il progetto *City Harvest* è stato sviluppato per il quartiere di St. Lawrence a Toronto, riconosciuto come il luogo di nascita della città, grazie al primo mercato alimentare che ha riunito le persone attorno a valori e esperienze condivise di cibo, comunità, cultura e patrimonio. La metodologia per progettare il sistema ha seguito un approccio qualitativo, basato su processi iterativi e di co-progettazione. Sono stati coinvolti: 32 partecipanti in un workshop tramite questionari, 2 charrette di progettazione con oltre 150 partecipanti, 2 interviste approfondite.

Risultati dei questionari, delle interviste e delle charrette di progettazione

Una combinazione di approcci qualitativi, tra cui questionari, interviste e charrette di progettazione, è stata applicata tra il 2023 e il 2024 presso il *Brookfield Sustainability Institute* (BSI) del *George Brown College* di Toronto. Nell'autunno del 2023, il *team* di ricerca ha progettato domande per un questionario, somministrato durante un *workshop* con la partecipazione di 32 volontari. Il questionario ha esplorato le esperienze e l'interesse dei partecipanti verso l'agricoltura urbana a Toronto. I risultati hanno rivelato che la maggior parte dei partecipanti (69%) non aveva recenti esperienze di coltivazione di frutta e verdura. Tuttavia, nonostante la mancanza di esperienza nell'agricoltura urbana, la maggior parte (75%) ha dichiarato che coltiverebbe il proprio cibo se ne avesse la possibilità. Inoltre, è stato scoperto che il maggiore ostacolo all'agricoltura urbana residenziale è rappresentato dallo spazio disponibile (Fig. 3).

Nell'autunno del 2023, una serie di interviste ha approfondito il problema dell'insicurezza alimentare, fornendo intuizioni significative. I risultati hanno evidenziato che l'insicurezza alimentare, nel contesto economico attuale, è prevalentemente una questione economica e non può essere affrontata unicamente aumentando la produzione alimentare. Richiede invece strategie complete che affrontino direttamente le dimensioni economiche dell'accessibilità, comprese le entrate e i costi complessivi che incidono sulle famiglie.

spaces (Igini, 2023). In parallel to these innovative design approaches, there is also a need to redefine building codes and standards, designing new infrastructure and regulations (Lovell, 2022) at city scale. However, it is a known fact that geographical, economic and social differences in different cities around the world determine the success or failure of such indoor and outdoor urban farming practices (Negrello, 2024).

Research problem

According to the City of Toronto, almost one in four (24.1%) Torontonians live in food insecure households. The risk of food insecurity is higher for people with low income or receiving social assistance, racialised individuals, especially those who identify as Black or Indigenous, people who rent, as opposed to owning their home, and single parents. Therefore, a resilient urban food system that alleviates urban food insecurity through social and technological innovation is highly required. The main research problem of this paper is: "How to design a sustainable food system that increases food security and quality of life in urban communities in a holistic perspective?"

Objectives of the research

Based on the extensive literature review and the research question, the objective of this paper is to introduce a data-driven and sustainable urban food service and place design that extends beyond decarbonisation: "City Harvest: A Resilient Urban Food System Design".

Design Strategy of City Harvest

The City Harvest strategy focuses on three goals: urban farming, soil regeneration, and social connections. By promoting urban farming, the project aims to bring food production closer to communities, empowering them to take control of their food sources. Acknowledging the urgency of soil degradation, City Harvest aims to close the loop on nutrient cycles, transforming the flow of nutrients into a circular system that supports sustainable agriculture (Fig. 1). Conversely, the digital platform serves as a repository of multicultural food knowledge and geospatial data on food production growth. This provides an opportunity to foster social connections and helps people increase their knowledge about food, nutrients, and biodiversity, enabling them to make healthier dietary choices.

Product Ecosystem

City Harvest's product ecosystem will consist of 3 main pillars (Fig. 2):

1. Harvest Kits;
2. Harvest Hubs;
3. Food Connect.

Each pillar will work to address a different scale of the system, from the individual to the neighbourhood scale and, finally, the city scale. Details of each pillar are explained in the following sections.

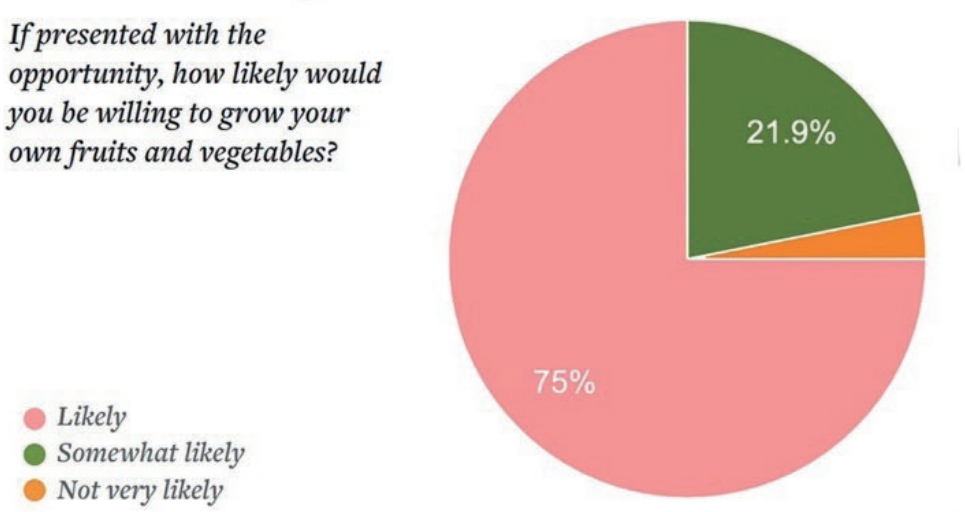
Methodology

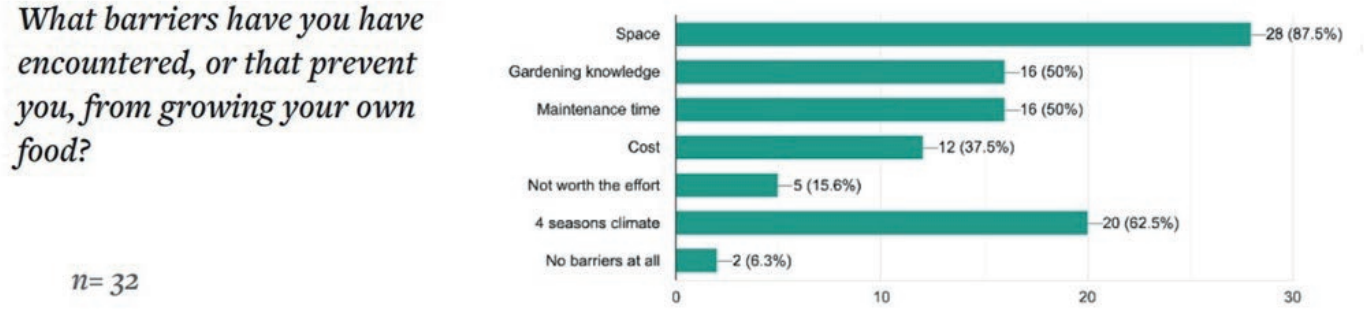
'City Harvest' is developed for the St. Lawrence neighbbourhood of Toronto, which is recognised as the birthplace of the city with the first Food Market that brings people together around shared values and experiences of food, community, culture, and heritage. The methodology to design the system followed a qualitative approach of iterative and co-design processes of 32 participants' surveys in a workshop format, 2 design charrettes of more

Sempre nell'autunno del 2023, il *team* di ricerca ha condotto una charrette di progettazione, in cui sono stati esplorati e presentati risultati preliminari e vari concetti con approcci strategici per il processo progettuale. Successivamente, nell'inverno del 2024, si è tenuta una seconda charrette di progettazione, incentrata sullo sviluppo progettuale, con la partecipazione di studenti internazionali. Grazie alla collaborazione tra partecipanti con prospettive interdisciplinari, il *team* ha concentrato i propri sforzi sul miglioramento della piattaforma digitale, dei centri del raccolto e dei kit per il raccolto. I risultati di entrambe le charrette si sono tradotti nello sviluppo di progetti raffinati, prototipi visivi, modelli di business associati e dimostrazioni di un'integrazione coesa tra intuizioni di ricerca e innovazione progettuale. Attraverso un processo di progettazione collaborativo, la proposta del sistema ha integrato una piattaforma digitale partecipativa e basata sui dati, in grado di raccogliere e gestire informazioni alimentari urbane prodotte sia da strutture verticali modulari applicate alle facciate degli edifici sia dai kit domestici. Inoltre, le attività di co-produzione e formazione sono state considerate come meccanismi principali per costruire connessioni comunitarie in rete, sia negli spazi digitali che fisici.

Pilastro #1: *Food Connect* La piattaforma digitale di *City Harvest*, *Food Connect*, è progettata per rivoluzionare il modo in cui le persone interagiscono con il cibo attraverso attività di co-produzione che si svolgono sia negli spazi digitali che in quelli fisici urbani. Fornendo uno spazio online completo, la piattaforma mira ad affrontare molteplici problematiche pressanti legate al cibo, a partire dalla riduzione degli sprechi alimentari. Attraverso *Food Connect*, individui e aziende possono condividere facilmente il cibo in eccesso, deviandolo dalle discariche e contribuendo a un sistema alimentare più sostenibile. Inoltre, *Food Connect* promuove un

| 03





senso di comunità attorno alla coltivazione e alle pratiche culinarie. Facilitando la condivisione di conoscenze e lo sviluppo di competenze, la piattaforma incoraggia le persone a esplorare vari aspetti della produzione e preparazione del cibo. Attraverso *workshop* virtuali e forum, gli utenti possono scambiare esperienze ed expertise, rendendosi più autosufficienti e connessi alle proprie fonti alimentari.

Principi di design

Food Connect è concepito come un potente strumento analitico, sfruttando i dati delle comunità agricole urbane per generare approfondimenti di valore. Analizzando tendenze e modelli, la piattaforma può informare i processi decisionali relativi alla resilienza alimentare, all'efficienza nella distribuzione e all'ottimizzazione della produzione. Questo approccio basato sui dati non solo migliora l'efficacia delle iniziative alimentari, ma contribuisce anche alla sostenibilità e resilienza a lungo termine dei sistemi alimentari urbani.

Food Connect opera con tre principali funzioni (vedi il prototipo in Fig. 4): *Community:* uno spazio sociale digitale dedicato al cibo, completo di profili, funzioni di pubblicazione e meccanismi di *feedback*. *Marketplace*: una piattaforma digitale aperta a persone e aziende per iscriversi. Questo permette a individui di distribuire verdure coltivate autonomamente o a ristoranti e negozi di generi alimentari di offrire alimenti prossimi alla scadenza a prezzi scontati. L'obiettivo è ridurre simultaneamente lo spreco alimentare e l'insicurezza alimentare. *Analytics*: una piattaforma di statistiche geospaziali in tempo reale che utilizza dati nuovi ed esistenti, insieme a tecnologie predittive basate su AI.

Analisi e set di dati

La funzione *Food Connect Analytics* sfrutterà sia i dati esistenti che quelli generati dal sistema interconnesso di *City Harvest*. Con l'inclusione dei dati di *City Harvest*, gli utenti di *Food Connect Analytics* potranno prevedere le variazioni dei prezzi alimentari, ottimizzare la distribuzione degli alimenti e promuovere la sovranità e la resilienza alimentare. *Analytics* fornirà approfondimenti utili alla pianificazione urbana attraverso diversi set di dati raccolti (Fig. 5). Tutti i set di dati utilizzati saranno open-source, garantendo trasparenza nei dati relativi alla produzione alimentare e facilitando un processo collaborativo.

Integrazione dell'Intelligenza Artificiale (AI): Olive

All'interno di *Food Connect Analytics*, l'integrazione dell'intelligenza artificiale prenderà la forma di un modello predittivo AI, concepito come un assistente virtuale denominato "*Olive*". *Olive* avrà tre principali obiettivi:

1. Modellazione predittiva per sicurezza alimentare e distribuzione. *Olive* analizzerà dati storici e in tempo reale provenienti da *Food Connect* per prevedere tendenze future nella produzione e nel consumo alimentare. Comprendendo i modelli stagionali e la produzione agricola urbana, Olive ottimizzerà la distribuzione alimentare in città, assicurando che l'offerta soddisfi la domanda, minimizzando al contempo gli sprechi. Questo contribuirà a creare percorsi di consegna efficienti, riducendo le emissioni e migliorando la sicurezza alimentare complessiva.
2. Raccomandazioni personalizzate per agricoltori urbani. *Olive* sfrutterà i dati dei *Harvest Kits* e dei *Harvest Hubs* per fornire agli utenti consigli personalizzati sulla coltivazione. Ana-

than 150 participants, and 2 in-depth interviews.

Results of surveys, interviews and design charrettes

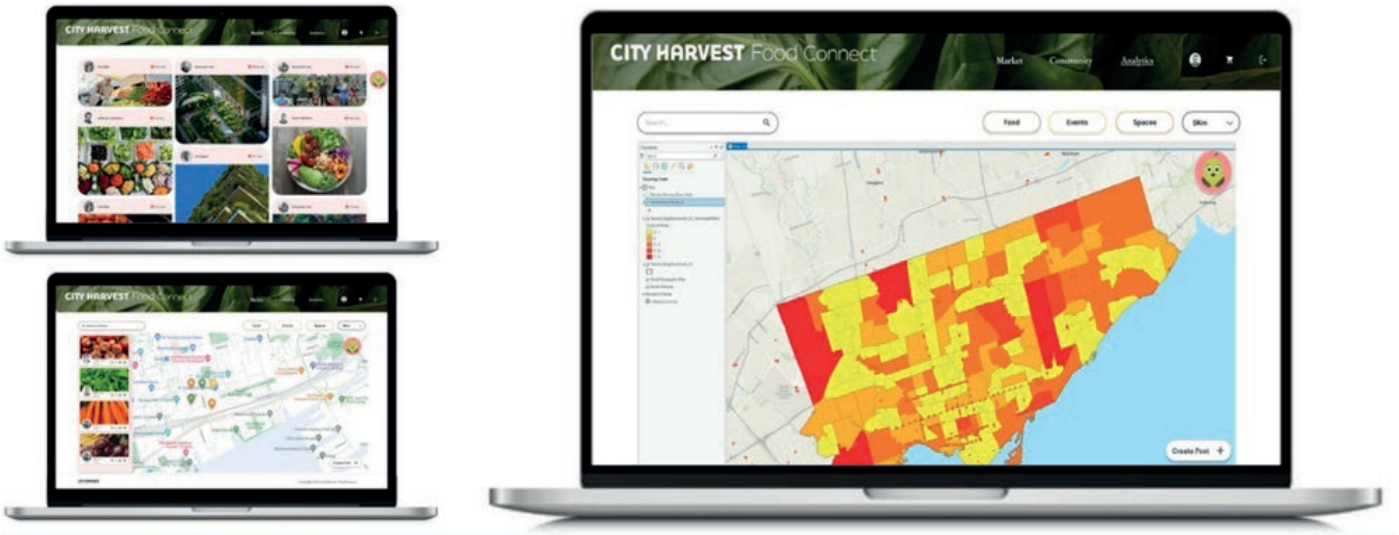
A combination of qualitative approaches including surveys, interviews, and design charrettes were applied between 2023 – 2024 at the Brookfield Sustainability Institute (BSI) of George Brown College in Toronto. In Fall 2023, the research team designed survey questions to be applied during a workshop counting the participation of 32 volunteers. The survey explored participants' experiences and interest in urban agriculture within the city of Toronto. The results indicated that, in Toronto, most of the participants (69%) did not have recent experience growing their own fruits and vegetables. Yet despite the lack of urban agricultural experience, most participants (75%) would grow their own food, if given the opportunity. The survey also found that the largest obstacle to residential urban agriculture was 'space' (Fig. 3).

In the fall of 2023, a series of interviews focused on the issue of food insecurity and provided significant insights. The results highlighted the understanding that food insecurity within the current economic framework is predominantly an economic issue, which cannot be addressed solely by increasing food production. Instead, it requires comprehensive strategies that directly tackle the economic dimensions of affordability, including access to income and the broader costs impacting households.

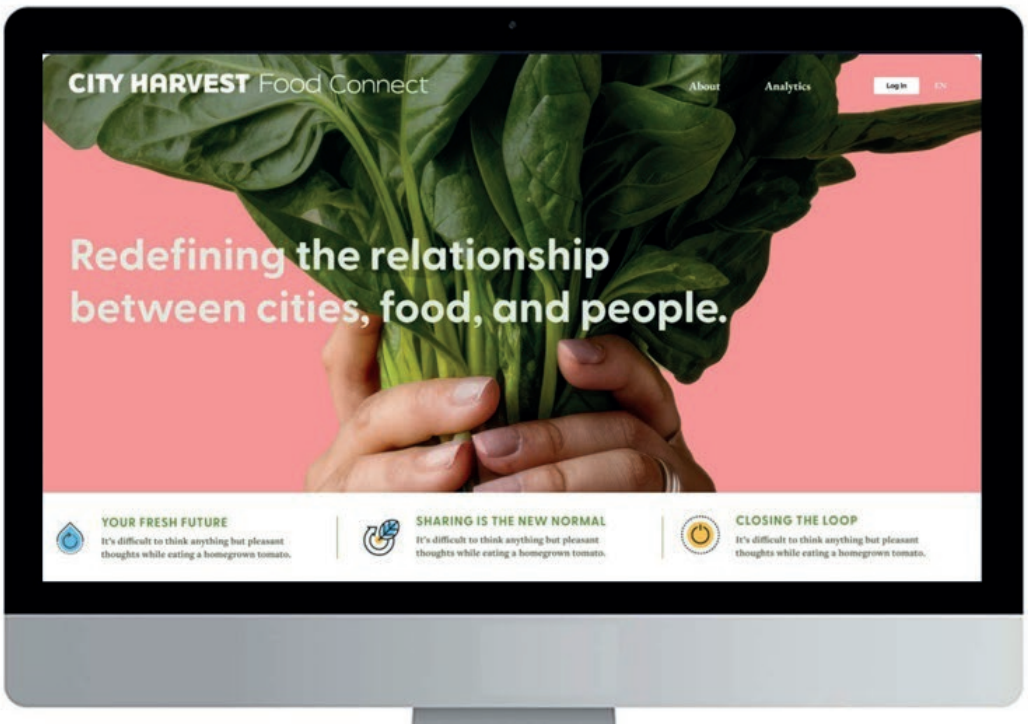
In the Fall of 2023, the research team conducted a Design Charrette, where preliminary findings and various concepts with strategic approaches for the design process had been explored and presented. Subsequently, an international student Design Charrette with a primary focus on design development was conducted in the winter of 2024. By collaborating with participants across interdisciplinary perspectives, the research team concentrated on advancing the design of the digital platform, harvest hubs, and harvest kits. Both Charrette results culminated in the development of refined designs, visuals, prototypes, and associated business model drafts, demonstrating a cohesive integration of research insights and design innovation. With the help of collaborative design, the system proposal incorporated a data-driven participatory digital platform that can collect and manage urban food data produced by both the modular vertical structures attached to the façades of the buildings and the housing kits. In addition, co-production and training activities are considered as the main mechanisms where networked community connections are built both in digital and physical space design.

Pillar #1: Food Connect

City Harvest's digital platform, Food Connect, is poised to revolutionise the way people engage with food through co-production activities carried out both in digital and physical urban spaces. By providing a comprehensive online space, it aims to address multiple pressing issues surrounding food, starting with the reduction of food waste. Through Food Connect, individuals and businesses can easily share surplus food, thus diverting it from landfills and contributing to a more sustainable food system. Moreover, Food Connect seeks to foster a sense of community around



Please scan this QR code to explore Food Connect on your own.



food cultivation and culinary practices. By facilitating knowledge sharing and skill development, the platform encourages people to explore various aspects of food production and preparation. Through virtual workshops and forums, users can exchange expertise and experiences, ultimately empowering individuals to become more self-sufficient and connected to their food sources.

Design principles

Food Connect is envisioned as a powerful analytics tool, leveraging data from the urban agricultural community to generate valuable insights. By analysing trends and patterns, the platform can inform decision-making processes related to food resilience, distribution efficiency, and optimised production. This data-driven approach not only enhances the effectiveness of food-related initiatives but also contributes to the long-term sustainability and resilience of urban food systems.

Food Connect operates with 3 major functions (see the Figma prototype in Fig. 4): Community, Marketplace, and Analytics. 'Community' is focused on providing a food-centred digital social media space, complete with profiles, posting functions and feedback mechanisms. A 'Marketplace' is provided digitally for any person or business to sign up. This allows for people to distribute vegetables they have grown themselves, or for restaurants and grocery stores to distribute soon-to-expire food at discount prices. This aims to simultaneously reduce food waste and lower food insecurity. Food Connect's 'Analytics' will be a real time, geo-spatial statistics platform that utilises new and existing data, in conjunction with predictive AI technologies.

Analytics and Data Sets

Food Connect Analytics would capitalise on existing data, as well as on new data generated through City Harvest's interconnected smart system. With the inclusion of City Harvest data, Food Connect Analytics users would be able to forecast food price changes, optimise food distribution, and build food sovereignty and resilience. The Food Connect Analytics will be able to provide city shaping insights through different data sets collected (Fig. 5). All of the data sets used are open source, which will allow for transparency in food production data as well as a collaborative process.

lizzando le condizioni locali, come temperatura, umidità e qualità del suolo, Olive suggerirà i momenti migliori per la semina, i programmi di irrigazione e le necessità nutrizionali. Questo supporto personalizzato migliorerà la resa dei raccolti, rendendo l'agricoltura urbana più accessibile ed efficace.

3. Monitoraggio in tempo reale e rilevamento delle anomalie. *Olive* monitorerà costantemente i dati provenienti dai sensori della rete *Food Connect*, utilizzando l'apprendimento automatico per rilevare anomalie come cambiamenti improvvisi nell'umidità del suolo o nella crescita delle piante. In caso di irregolarità, il sistema potrà avvisare gli utenti o regolare automaticamente le condizioni, garantendo la sostenibilità e la resilienza della produzione alimentare urbana.

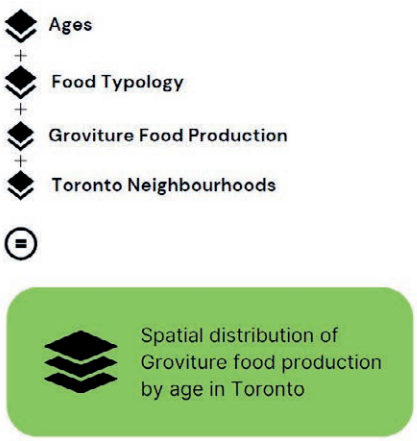
Pilastro #2: *Kit* per il Raccolto

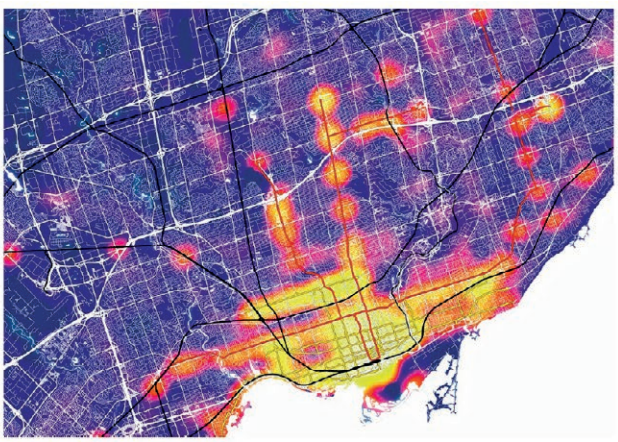
Il *Kit* per il Raccolto è un sistema di coltivazione indoor basato su suolo, progettato per uso residenziale. Integra un essiccatore per rifiuti alimentari e una camera per la produzione di eco-enzimi. Consentendo ai residenti di coltivare cibo localmente e gestire efficacemente i rifiuti organici, contribuisce alla costruzione di comunità resilienti e sostenibili. Questo approccio può trasformare l'agricoltura urbana e promuovere un sistema alimentare più equo e rispettoso dell'ambiente.

Principi di Design

Il *Kit* per il Raccolto utilizza tecnologie IoT, modularità e principi di design circolare per soddisfare le esigenze residenziali (Fig. 6). Comprende un vassoio modulare per il suolo, facile da maneggiare, che può essere restituito a una struttura di compostaggio ad alto contenuto nutritivo per essere sostituito con uno nuovo contenente terreno ricco di nutrienti e semi, oppure con vassoi contenenti piante provenienti dai Centri del Raccolto.
La camera per eco-enzimi utilizza i rifiuti organici per produrre pesticidi e fertilizzanti naturali, riducendo la necessità di utilizzare prodotti chimici dannosi per coltivare verdure in casa. Gli

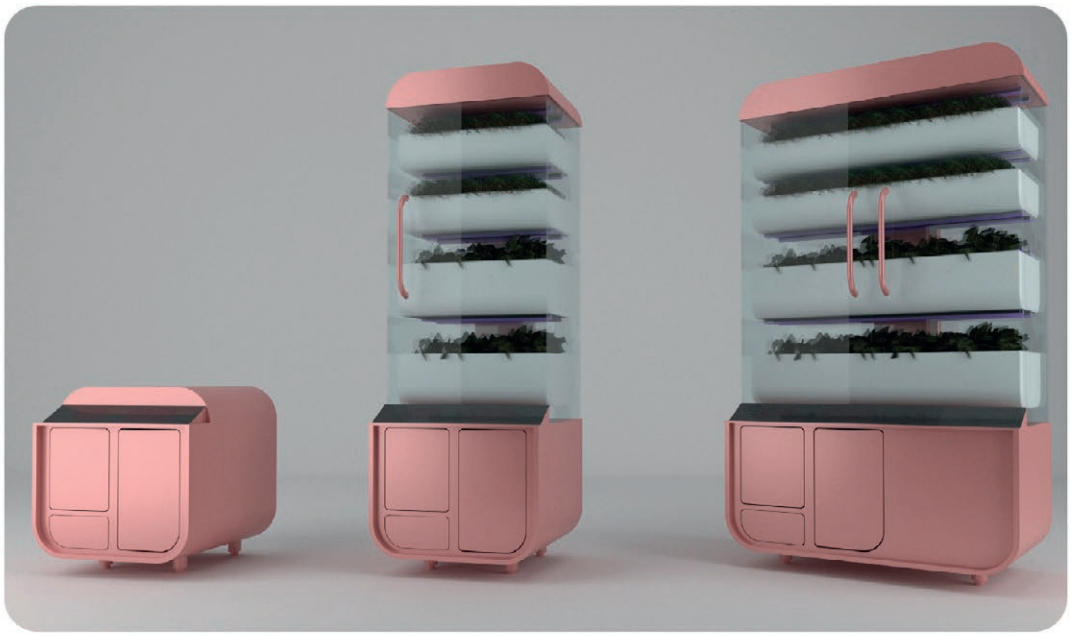
05 |

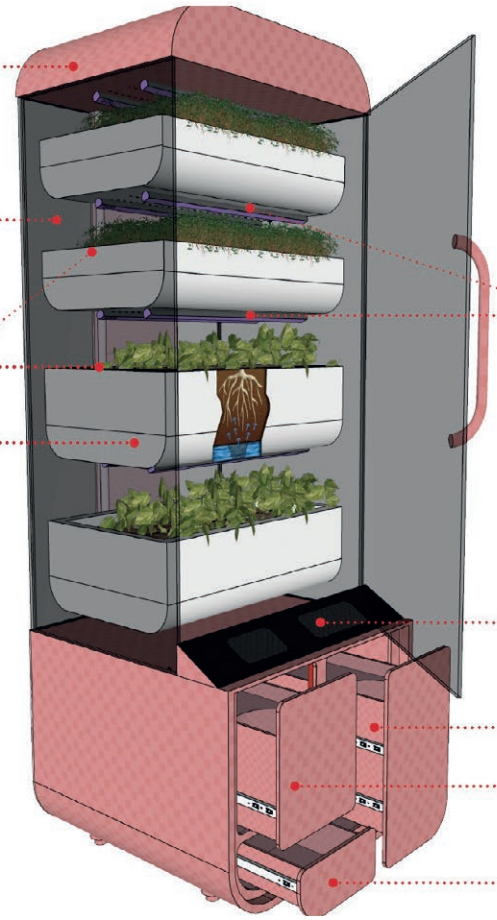




Spatial Query, example 1.

Spatial Query, example 2.





Exhaust fan for temperature regulation and aeration

Smart interactive LED panel

Sensors

Water & Nutrition tray with water wicking system

AI buddy app- Olive

LED Growth lights

Smart interactive LED panel

Organic waste dehydrator

Eco-enzyme chamber

Residue compartment

eco-enzimi possono anche essere utilizzati come agenti detergenti domestici sostenibili e innocui per l'ambiente. Decentralizzando la produzione alimentare e il riciclo dei nutrienti, il *kit* contribuisce a ridurre le emissioni di carbonio e a promuovere la resilienza alimentare nelle aree urbane. Inoltre, il sistema di auto-irrigazione e i requisiti di manutenzione ridotti offrono praticità e accessibilità agli utenti. Tra i materiali principali utilizzati figurano acciaio riciclato, alluminio riciclato, pannelli derivati da rifiuti organici e materiali compositi impermeabili a base biologica. Il prodotto dispone di un ingresso e un'uscita per l'acqua e di un collegamento per la linea elettrica. La distribuzione del fertilizzante organico, ovvero gli eco-enzimi, avviene attraverso un sistema di irrigazione collegato all'impianto idraulico.

Gamma di prodotti

1. Unità base. La più piccola unità della gamma serve un ruolo cruciale nella gestione dei rifiuti organici e nelle pratiche domestiche sostenibili. Progettata specificamente per la produzione di eco-enzimi e il trattamento dei rifiuti organici, questa unità compatta consente di gestire la maggior parte dei rifiuti prodotti a livello domestico.
2. Modello a porta singola. Questa versione incorpora tutte le funzionalità dell'unità base e include inoltre kit di coltivazione basati sul suolo. Dotato di vari sensori IoT, il modello a porta singola consente il monitoraggio preciso delle condizioni ambientali per garantire una crescita ottimale delle piante. Contiene vassoi per il suolo in grado di ospitare sei capsule vegetali, che rappresentano un elemento chiave del sistema complessivo di *City Harvest*.
3. Modello a doppia porta. La versione a doppia porta è una versione ad alta capacità del modello a porta singola. Permette di coltivare il doppio delle piante e di immagazzinare i rifiuti alimentari essiccati in un compartimento più grande per un periodo massimo di un mese, prima che vengano raccolti e portati alla struttura di compostaggio ad alto contenuto nutritivo.

Tutti i modelli sono dotati di luci per la crescita delle piante, un sistema di irrigazione passivo con stoppini che forniscono anche nutrienti alle piante tramite la camera per eco-enzimi, vassoi modulari per il suolo e una ventola di scarico per la circolazione dell'aria. I sensori misurano luce, livello di pH, salinità, temperatura e umidità. Il supporto all'agricoltura IoT tramite l'assistente AI '*Olive*' è integrato, utilizzando dati raccolti dai sensori e approfondimenti dalla piattaforma digitale. Per facilità d'uso, il *kit* include un pannello di controllo con vetro intelligente per contenere la luce intensa e cassetti per i rifiuti organici operati da pulsanti. La maggior parte delle operazioni è automatizzata e può essere controllata tramite un'*app* sul telefono dell'utente.

Pilastro #3: Centri del Raccolto

I Centri del Raccolto rappresentano un approccio innovativo all'agricoltura urbana, sfruttando il potenziale non utilizzato delle facciate degli edifici e degli spazi stradali.

Principi di Design

I Centri del Raccolto sono progettati con l'obiettivo principale di massimizzare la produzione alimentare in aree che altrimenti

Artificial Intelligence (AI) Integration: Olive

Within Food Connect Analytics, AI integration would take shape in the form of a predictive AI model that can serve as a buddy named 'Olive' for the users. Olive will serve three main objectives:

1. Predictive Modelling for Food Security and Distribution. Olive can analyse historical and real-time data from Food Connect to forecast future food production and consumption trends. By understanding seasonal patterns and urban agricultural output, Olive will optimise food distribution across the city, ensuring that supply meets demand while minimising waste. This helps to create efficient delivery routes, reducing emissions, and improving overall food security.
2. Personalised Recommendations for Urban Gardeners. Olive leverages data from Harvest Kits and Harvest Hubs to provide users with tailored gardening advice. By analysing local conditions like temperature, humidity, and soil quality, Olive will suggest optimal planting times, watering schedules, and nutrient needs. This personalised guidance enhances crop yields and makes urban farming more accessible and effective.
3. Real-Time Monitoring and Anomaly Detection. Olive continuously monitors data from sensors across the Food Connect network, using machine learning to detect anomalies such as sudden changes in soil moisture or plant growth. When irregularities are found, the system can alert users or automatically adjust conditions, ensuring the sustainability and resilience of urban food production.

Pillar #2: Harvest Kits

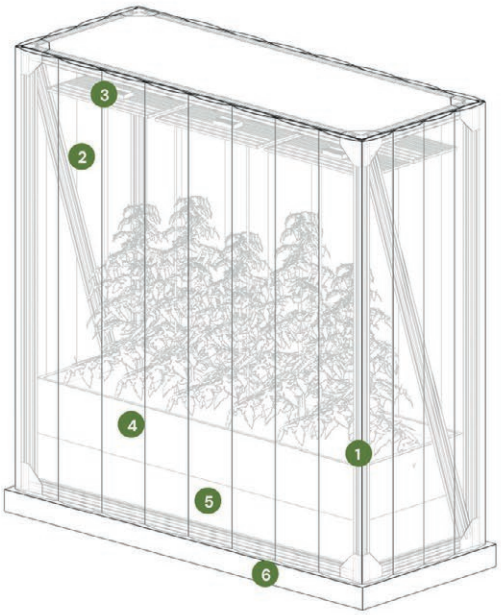
The Harvest Kit is a residential indoor soil-based growing kit that integrates a food waste dehydrator and eco-enzyme chamber. By empowering residents to grow food locally and manage organic waste effectively, it contributes to building resilient and sustainable communities. This can transform urban agriculture and foster a more equitable and environmentally conscious food system.

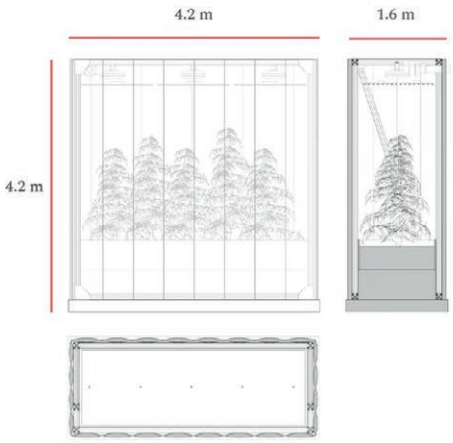
Design principles

The Harvest Kit makes use of IoT technology, modularity, and circular design principles for various residential needs (Figure 6). It includes a modular soil tray that is easy to handle and can be returned to the high nutrient composting facility to be replaced by a new one with nutrient rich soil and seeds, or replaced with soil trays containing plants from the harvest hubs connecting all the components of the City Harvest's product ecosystem.

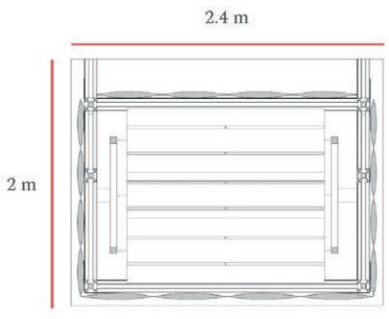
The eco-enzyme chamber uses organic waste and produces natural pesticides and fertilisers, reducing the need for harmful chemicals to grow vegetables at home. This eco-enzyme can also be used as a household cleaning agent, which is sustainable and harmless to the environment. By decentralising food production and nutrient recycling, the kit contributes to reducing carbon emissions and promoting food resilience in urban areas. Moreover, its self-watering system and low maintenance requirements provide convenience and accessibility to users. Recycled steel, recycled aluminium, bio-waste recycled panels, and bio-based waterproof composite are some of the main materials used. The product has an inlet and outlet

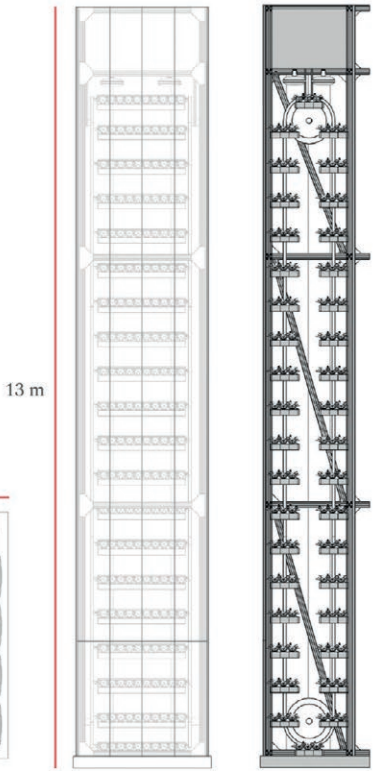
(1) 10X10 cm Extruded Aluminum
(2) 2 layer ETFE foil cushion
(3) 480W Grow light bars
(4) 50 cm soil bed
(5) 2500 liter water reservoir
(6) 20 cm concrete base





(1) 10X10 cm Extruded Aluminum
(2) 2 layer ETFE foil cushion
(3) Conveyor Mechanism
(4) Aluminum Grow Tray
(5) Conveyor belt and Gear
(6) 20 cm concrete base





for water, and a connection for the electrical line. The distribution of organic fertiliser, i.e., the eco-enzymes, occurs through the plumbing system connected to the water wicking watering system.

Product range

The smallest product in the range serves a crucial role in organic waste management and sustainable household practices. Specifically designed for eco-enzyme production and organic waste processing, this compact unit helps deal with most of the organic waste produced at household level. By transforming organic waste into eco-enzymes, users can contribute to a healthier environment and reduce their dependency on chemical-based fertilisers and pesticides for their indoor grown vegetables.

The single door model, which encompasses all the functions of the smallest unit, as well as additional soil-based

rimarrebbero inutilizzate. L'idea prevede l'implementazione di moduli agricoli urbani automatizzati, strategicamente collocati sia sugli edifici che lungo le strade, per utilizzare efficacemente lo spazio disponibile e contribuire alla produzione alimentare locale. Questa flessibilità non solo offre una soluzione alla scarsità di cibo, ma promuove anche la sostenibilità e la resilienza comunitaria in diversi tipi di ambienti urbani sottoutilizzati (Fig. 7).

Modularità
Modulo 1: Dedicato al miglioramento del paesaggio urbano, questo modulo sfrutta le opportunità disponibili lungo le strade. Posizionato direttamente sul piano stradale, è un modulo automatizzato per l'agricoltura urbana basata sul suolo, in grado di produrre cibo tutto l'anno. Utilizzando un sistema di irrigazione a stoppino, questo modulo alimenta efficacemente varie verdure, tra cui pomodori, carote e altro. La sua presenza non solo aggiunge verde agli ambienti urbani, ma contribuisce anche alla sicurezza alimentare locale rendendo accessibili prodotti freschi durante tutto l'anno.
Modulo 2: Progettato specificamente per sfruttare le facciate degli edifici, questo modulo automatizzato, basato sul suolo, utilizza un sistema a nastro trasportatore per l'agricoltura urbana tutto l'anno. Impiegando un sistema di irrigazione a sprinkler, nutre in modo efficiente un'ampia varietà di verdure a foglia verde, come spinaci, lattuga, cavolo riccio e altro. Integrandosi perfettamente con l'architettura degli edifici, il Modulo 2 non solo migliora l'estetica, ma promuove anche la sostenibilità e l'autosufficienza alimentare nelle comunità urbane.

Struttura e Materiali
Il Modulo 2 è caratterizzato da un design sofisticato e modulare che prevede:
- Vassoi in alluminio: 38 vassoi perforati per ottimizzare il flusso d'aria e il drenaggio.
- Struttura in alluminio estruso: materiale leggero ma robusto per garantire durata, facilità di installazione e manutenzione.
- Sistema a parete continua: ottimizza l'utilizzo dello spazio trasferendo i carichi in modo efficiente attraverso la struttura esistente dell'edificio, riducendo la necessità di elementi di supporto aggiuntivi.
- Rivestimento esterno in membrana ETFE (etilene tetrafluoroetilene): rinomato per trasparenza, durabilità e proprietà termiche. Questa membrana agisce come una copertura protettiva, permettendo l'ingresso di luce naturale e creando un ambiente controllato per la coltivazione tutto l'anno.

Grazie alla sua modularità, il *design* del Modulo 2 consente scalabilità e adattabilità a diversi ambienti urbani. La struttura versatile può essere personalizzata per adattarsi a varie facciate di edifici, massimizzando l'utilizzo dello spazio disponibile e promuovendo iniziative di inverdimento urbano (Fig. 8).

Conclusioni

Gli esperti stimano che lo stato attuale del suolo agricolo contenga nutrienti sufficienti solo per circa 60 raccolti futuri. Con un sistema globale che si basa sull'agricoltura per nutrire l'umanità e il bestiame, garantire la resilienza del suolo è fondamen-

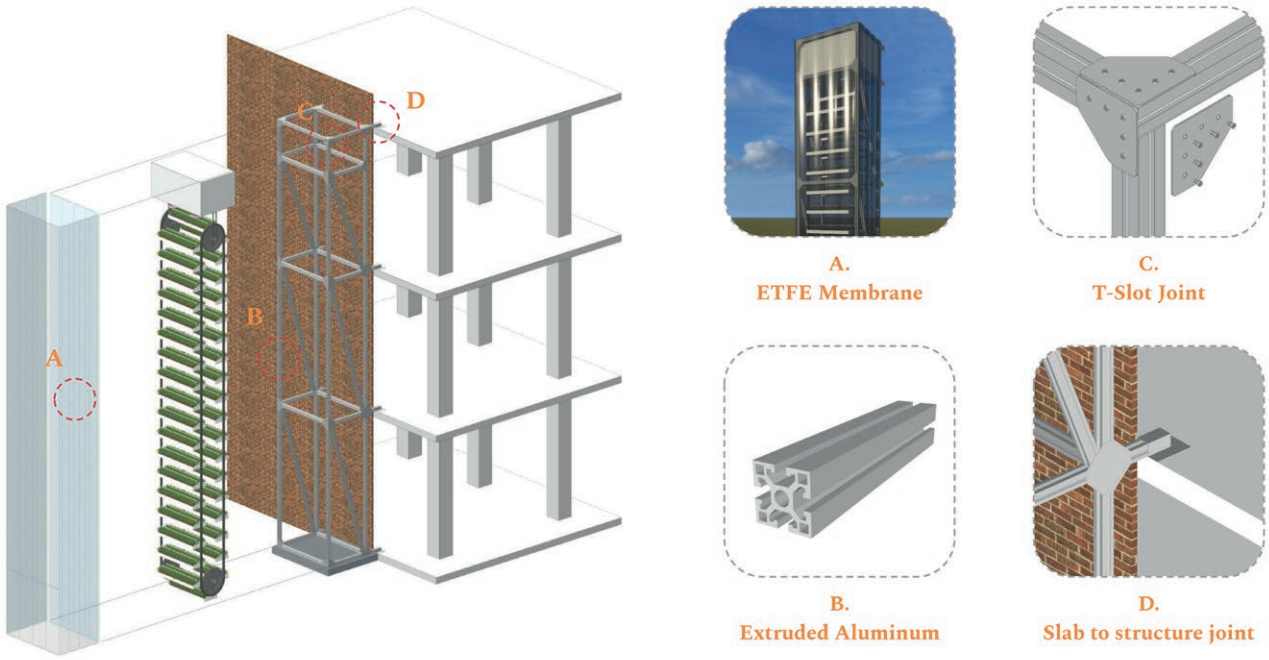
growing kits, further enhances its utility. Equipped with various IoT sensors, the single door model enables precise monitoring of environmental conditions, ensuring optimal plant growth. The inclusion of soil trays capable of accommodating six plant pods are important units that play a part in City Harvest's overall system.
The double door model is a higher capacity version of the single shelf model. It can grow twice the amount of plants and has the capacity to store the dehydrated organic food waste in a larger compartment for up to a month before it can be collected and taken to the high nutrient composting facility.
The plants are supported by growth lights; a passive form of watering system through water wicks that also delivers nutrients to the plants as required from the eco-enzyme storage chamber below; a modular soil tray; and an exhaust fan to circulate air. Sensors are provided to measure light, pH level, salinity, temperature and humidity. IoT farming support through AI buddy "Olive" is provided using data collected by sensors and general insights from the digital platform. For ease of usage, an interface panel to operate the kit is provided with smart tint glass to contain the bright grow light and button-operated organic waste receptacles. Most of the operations are automated and can be controlled through the app on the user's phone.

Pillar #3: Harvest Hubs
Harvest hubs are a forward-thinking approach to urban agriculture, capitalising on the untapped potential of building façades and street spaces.

Design Principles
The hubs are designed with the primary goal of maximising food production in areas that would otherwise go unused. The vision includes implementation of automated urban farming modules, strategically placed on both buildings and streets, to efficiently use available space and contribute to local food production. This flexibility not only provides a solution for food scarcity but also promotes sustainability and community resilience in different types of underutilised urban environments (Fig. 7).

Modularity
Module 1 is dedicated to enhancing the street scape by harnessing available opportunities. Positioned directly on the street, it serves as an automated, soil-based urban farming module capable of year-round food production. Utilising a wick irrigation system, this module efficiently nourishes various vegetables, including tomatoes, carrots, and more. Its presence not only adds greenery to urban environments, but also contributes to local food security by making fresh produce accessible throughout the year.
Module 2 is designed to specifically target building façades, leveraging their vertical space for urban farming. This automated, soil-based conveyer belt module operates year-round, offering a consistent supply of fresh produce. Employing a sprinkler irrigation system, it efficiently nurtures a variety of leafy greens, including spinach, lettuce, kale, and more. By integrating seamlessly into the architecture of buildings, Module 2 not only enhances aesthetic appeal but also promotes sustainability and food self-sufficiency within urban communities. Module 2 also features a sophisticated tray design comprising 38 aluminium trays, each

Structure & Material



CITY HARVEST

tale per fornire un sistema alimentare sostenibile nel futuro. Creando strutture locali e decentralizzate per la gestione dei rifiuti alimentari, i quartieri possono dotarsi di suolo ad alto contenuto nutritivo per la produzione alimentare, riducendo al contempo le emissioni di gas serra provenienti dalle discariche e dalla distribuzione.
La gestione sostenibile dei rifiuti alimentari offre inoltre opportunità uniche per:
– il risanamento del suolo nelle aree rurali;
– la creazione di reti micorriziche urbane;
– lo sviluppo di prodotti basati sugli eco-enzimi.

Una trasformazione a livello di sistema richiede un approccio completo e multidimensionale. *City Harvest* mira quindi a risolvere questa problematica attraverso tre interventi essenziali:
1. Agricoltura urbana;
2. Rigenerazione del suolo;
3. Connessioni sociali attraverso l'integrazione degli spazi digitali e fisici.

meticulously crafted with perforations to optimise airflow and drainage.

Structure and Material
The structural integrity of Module 2 is paramount, achieved by using extruded aluminium for its framework. This lightweight yet robust material ensures durability, while facilitating installation and maintenance. Following the principles of a curtain wall system, the structural design optimises space utilisation by transferring loads efficiently through the existing building structure, minimising the need for additional support elements. The outer skin of Module 2 is composed of an ETFE (ethylene tetrafluoroethylene) membrane, renowned for its transparency, durability, and thermal properties. This material acts as a protective cover for the structure, shielding it from external elements while allowing ample natural light to permeate through. By creating a controlled environment conducive to year-round growing, the ETFE membrane enables Module 2 to thrive in diverse weather conditions, ensuring consistent and optimal growing conditions for the cultivated plants. Furthermore, the modular design of Module 2 allows for scalability and adaptability to different urban environments. Its versatile structure can be tailored to fit various building façades, maximising the use of available space and promoting urban greening initiatives (Fig. 8).

Conclusions
Experts estimate that the current health of topsoil used for agriculture contains only enough nutrients left for approximately 60 harvests. With a global system that relies on agriculture to feed humans and livestock, ensuring the resiliency of soil health is critical to providing a sustainable food system for the future. By creating local, decentralised facilities to manage food waste, neighbourhoods can supply themselves with high nutrient soil for food production, while reducing GHGs from landfills and distribution. Sustainable management of food waste also provides unique opportunities for rural soil remediation, building urban mycorrhizal networks, and creating eco-enzyme-based products.
A transformation at the systems level needs a comprehensive and multifaceted approach. Hence, City Harvest aims to tackle the issue through three essential interventions: Urban farming, Soil regeneration, and Social connections through digital and physical space integration. As an integrated hub in the neighbbourhood, City Harvest aims to supply 80% of St. Lawrence neighbourhood's annual vegetable production by 2035. Also, the platform design enables to measure local indicators and sub-targets of the Sustainable Development Goal (SDG)#2 for Zero Hunger and SDG#11 for Sustainable Communities.

ACKNOWLEDGEMENTS
The authors would like to thank to St. Lawrence Neighbourhood Association, Luigi Ferrara, Jacob Kessler, Derek Chezzi, Sarah Leach, Monica Contreras, Bernhard Dietz, Susan Speigel, Graeme Kondruss, Job Rutgers, Derwyn Goodall, Tansu Acimert, Ian Chalmers and Sandhya Casson for their valuable efforts and feedback for the project.

NOTES
[1] https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/9787-TO_Prosperity_Final2015-reduced.pdf

Come un *hub* integrato a livello di quartiere, *City Harvest* punta a fornire l'80% della produzione annuale di verdure per il quartiere di St. Lawrence entro il 2035. Inoltre, il *design* della piattaforma consente di misurare indicatori locali e sotto-obiettivi dell'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile (SDG) #2 per Zero Fame e #11 per Comunità Sostenibili.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare la *St. Lawrence Neighborhood Association*, Luigi Ferrara, Jacob Kessler, Derek Chezzi, Sarah Leach, Monica Contreras, Bernhard Dietz, Susan Speigel, Graeme Kondruss, Job Rutgers, Derwyn Goodall, Tansu Acimert, Ian Chalmers e Sandhya Casson per i loro preziosi contributi, sforzi e *feedback* forniti al progetto.

NOTE

[1] https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/9787-TO_Prosperity_Final2015-reduced.pdf

[2] https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2018/hl/bgrd/backgroundfile-118057.pdf

[3] https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2021/ec/bgrd/backgroundfile-170565.pdf

[4] https://www.toronto.ca/city-government/accountability-operations-customer-service/long-term-vision-plans-and-strategies/reconciliation-action-plan/

[5] https://montreal.ca/en/articles/montreal-common-innovating-together-to-reimagine-city-15119

[2] https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2018/hl/bgrd/backgroundfile-118057.pdf
[3] https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2021/ec/bgrd/backgroundfile-170565.pdf
[4] https://www.toronto.ca/city-government/accountability-operations-customer-service/long-term-vision-plans-and-strategies/reconciliation-action-plan/
[5] https://montreal.ca/en/articles/montreal-common-innovating-together-to-reimagine-city-15119

REFERENCES

City of Toronto, (2017), *Food Insecurity Report*. Available at: https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2017/hl/bgrd/backgroundfile-107929.pdf.

Cummins, S. and Macintyre, S. (2002), "Food deserts – evidence and assumption in health policy

Making", *The BMJ*, Vol.325, pp.436-438, Available at: https://doi.org/10.1136/bmj.325.7361.436.

Gonzales, P. (2012), *Have food deserts turned into food swamps?*, Berkeley Media Studies Group, Available at: https://www.bmsg.org/have-food-deserts-turned-into-food-swamps/.

Harper, S. L., Schnitter, R., Fazil, A., Fleury, M., Ford, J., King, N., Lesnikowski, A., McGregor, D., Paterson, J., Smith, B., and Neufeld, H. T. (2022), "Food Security and Food Safety", in Berry, P. and Schnitter, R. (Eds), *Health of Canadians in a Changing Climate: Advancing our Knowledge for Action*, Ottawa, Government of Canada.

Igini, M. (2023), *Top 7 Vertical Farming Companies in the World*, Available at: https://earth.org/vertical-farming-companies/.

Lovell, A. (2022), *Quebec leads indoor urban agriculture trend, Country Guides News*, Available at: https://www.country-guide.ca/news/quebec-leads-indoor-urban-agriculture-trend/ (Accessed on 09/09/2023).

Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L., Benton, T., Herrero, M., Krishnapillai, M., and Xu, Y. (2019), "Food security", in Shukla, P., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Malley J. (Eds), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Available at: https://www.ipcc.ch/srccl/.

Myers, S.S., Smith, M.R., Guth, S., Golden, C.D., Vaitla, B., Mueller, N.D. and Huybers, P. (2017), "Climate change and global food systems: potential impacts on food security and undernutrition", *Annual Review of Public Health*, Vol. 38, pp. 259-277. Available at: https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031816-044356.

Negrello, M. (2024), "Indoor urban agriculture: from innovative design experimentation to standardisation", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 27, pp. 81-88. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-15136.

Orsini, F. (2022), "Food Vertigo. Processes and devices for metropolitan food resilience", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 23, pp. 104-116. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-12139.

Shaw, J. (2003), *The Ecology of Food Deserts* (PhD Thesis), The University of Leeds School of Geography.

Stahlbrand L. and Roberts W., (2022), "Critical Food Guidance in Action: The History of the Toronto Food Policy Council", *Canadian Food Studies*, Vol. 9, n.1, pp.69-86.

Todd J. and Todd N., (1994), *From Eco-Cities to Living Machines: Principles of Ecological Design*, North Atlantic Books.

Sistemi agrivoltaici innovativi: soluzioni integrate per habitat *climate resilient*

Valeria D'Ambrosio, https://orcid.org/0000-0002-0201-0590 valeria.dambrosio@unina.it
Enza Tersigni, https://orcid.org/0000-0002-2981-1603 enza.tersigni@unina.it
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia

Abstract. L'innovazione nel campo dei sistemi agrivoltaici prevede l'adozione di soluzioni integrate volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola, applicando innovazioni convergenti di tipo tecnologico-energetico da un lato e tecnologico-colturale dall'altro. I sistemi agrivoltaici possono essere inquadrati nella categoria dei sistemi integrati biotech e la loro implementazione guarda a innovativi modelli di habitat climate resilient, favorendo una combinazione compatibile fra componenti antropiche e ambientali. Il contributo riporta gli esiti dell'attività di un gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II condotta nell'ambito del progetto integrato "Fotovoltaico ad alta efficienza" (PTR 2022-2024) con l'obiettivo di definire strumenti di supporto per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici, a partire dalla costruzione di un quadro sistematizzato dei principali aspetti di innovazione tecnologica nelle sue linee di orientamento per l'incremento della resilienza climatica.

Parole chiave: Sistemi agrivoltaici; *Habitat climate resilient*; Decarbonizzazione; Neutralità climatica.

Transizioni del settore agricolo in chiave *carbon* e *climate neutral*

In ambito europeo le politiche energetiche mirano a una rapida accelerazione della diffusione del solare fotovoltaico per contribuire al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica entro il 2050. Sebbene una notevole potenza installata possa essere realizzata nelle aree urbane, nelle aree dismesse e nelle infrastrutture, si prevede che circa il 50% possa essere costituito da impianti cosiddetti "a terra", comprendendo anche i terreni in aree agricole (SolarPower Europe, 2022).

La diffusione di sistemi agrivoltaici, nell'ambito del perseguimento delle strategie dell'*European Green Deal*, può contribuire al raggiungimento degli obiettivi fissati dalle politiche relative alla transizione energetica, con potenziali ricadute positive sull'agricoltura, sull'ambiente e sulla biodiversità e, più in generale, sulla gestione integrata delle risorse acqua-energia-cibo-ecosistemi (Chalkias and Stathatos, 2024). Nel rapporto del *Joint Research Centre* della Commissione europea viene stimato che l'utilizzo di solo l'1% della superficie agricola europea destinata ad accogliere sistemi agrivoltaici potrebbe consentire 1 TW di capacità fotovoltaica, ben al di sopra dei 590 GW previsti entro il 2030 dalla recente strategia dell'UE[1] per l'energia solare (Chatzipanagi *et al*., 2023). Nella Politica Agricola Comune dell'UE, in vigore in Italia dal 2023, l'attuazione di soluzioni agrivoltaiche viene individuata come misura per favorire lo sviluppo di aziende agricole a impatto zero e la trasformazione del settore agricolo in chiave *carbon* e *climate neutral* attraverso l'innovativa organizzazione di "comunità agro-energetiche" (Abouaiana and Battisti, 2022).

Anche in ambito nazionale, la diffusione di sistemi agrivoltaici si inquadra fra una delle più interessanti opportunità previste dalla Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica" del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, che dichiara l'obiettivo di un profondo cambiamento per realizzare la transizione verde, ecologica e inclusiva del Paese favorendo l'economia circolare, lo sviluppo di fonti di energia rinnovabile e un'agricoltura più sostenibile e resiliente al clima. I co-benefici correlati alla diffusioni di sistemi agrivoltaici sono molteplici, a partire dai minori rischi rispetto all'agricoltura tradizionale fortemente dipendente dalle condizioni meteorologiche e sempre più sottoposta agli effetti del cambiamento climatico: protezione da forti venti, grandine o eccessivo irraggiamento solare, controllo

Innovative agrivoltaic systems: integrated solutions for climate resilient habitats

Abstract. Innovation in the field of agrivoltaic systems involves the adoption of integrated solutions aimed at preserving the continuity of agricultural cultivation activities by applying convergent technological-energy innovations on the one hand, and technological-cultural innovations on the other. Agrivoltaic systems can be framed in the category of biotech integrated systems, and their implementation looks at innovative climate resilient habitat models, favouring a compatible combination of anthropic and environmental components. The paper reports on the outcomes of the activity of a research group of the Department of Architecture, University of Naples Federico II, conducted in the framework of the integrated project 'High-efficiency photovoltaics' (PTR 2022-2024), The aim was to define support tools for environmental sustainability in the design of agrivoltaic systems, starting from the construction of a systematised framework of the main aspects of the technological innovation in its orientation towards increasing climate resilience.

Keywords: Agrivoltaic systems; Climate resilient habitat; Decarbonisation; Climate neutrality.

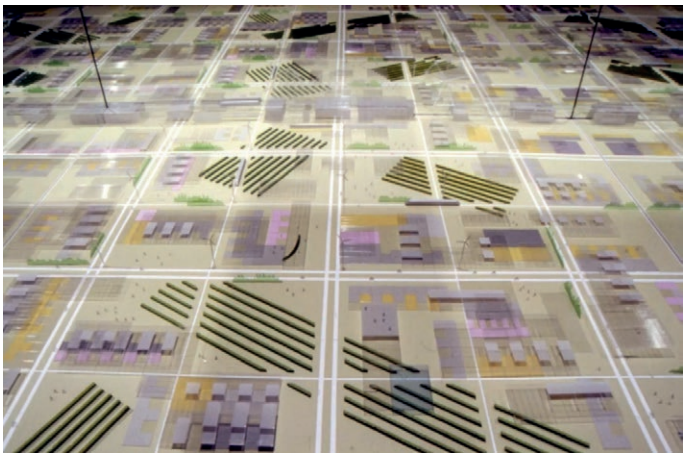
Transitions of the agricultural sector towards carbon and climate neutrality

Energy policies in Europe aim at a rapid acceleration of solar photovoltaic use to contribute to the achievement of decarbonisation and climate neutrality targets by 2050. Although a considerable amount of installed capacity can be realised in urban areas, brownfields and infrastructure, it is expected that around 50% could be so-called 'ground-mounted' systems, including land in agricultural areas (SolarPower Europe, 2022).

The spread of agrivoltaic systems, as part of the pursuit of the European Green Deal strategies, can contribute to the achievement of goals set by policies related to the energy transition, with potential positive effects on agriculture, on the environment and biodiversity and, more generally, on the integrated management of water-energy-food-ecosystems resources (Chalkias and Stathatos, 2024). In a report by the Joint Research Centre of the European Commission, it is estimated that the use of only 1% of the European agricultural area as land for agrivoltaic systems could enable 1 TW of photovoltaic capacity, well above the 590 GW envisaged by 2030 in the recent EU strategy[1] for solar energy (Chatzipanagi *et al*., 2023). In the EU Common Agricultural Policy, in force in Italy from 2023, the implementation of agrivoltaic solutions

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16588

01 | "Agronica", Domus Accademy per Philips, 1995 (Fonte: A. Branzi, D. Donegani, A. Petrillo, C. Raimondo con T. Ben David)
"Agronica", Domus Academy for Philips, 1995 (Source: A. Branzi, D. Donegani, A. Petrillo, C. Raimondo with T. Ben David)



dei processi di evapotraspirazione delle colture, limitazione del fabbisogno idrico, contrasto delle precipitazioni intense e delle condizioni di siccità (Klyk and Schindele, 2024).

Sistemi agrivoltaici per habitat *climate resilient*

I sistemi agrivoltaici possono essere inquadrati nella categoria di sistemi integrati *biotech* in base alla caratteristica di combinare componenti biotiche e componenti tecnologiche avanzate, integrando colture e contesti ambientali, principi insediativi e sistemi tecnologici, ambiti naturali da valorizzare in termini di tutela e sviluppo sostenibile. La realizzazione di sistemi agrivoltaici non può essere tuttavia considerata nella verifica della combinazione dei suoi aspetti funzionali, produttivi e di compatibilità fra tecnologia e ambiente agricolo, ma nelle implicazioni delle componenti insediative di innovativi modelli di habitat capaci di trovare nuovi punti di contatto fra la sfera antropizzata e quella naturale, strutturati secondo sistemi aperti in base ai canoni derivati dall'agricoltura (Branzi, 2006) (Fig. 1). Si propone, infatti, un modello che si strutturi e cambi in simbiosi con la natura e i suoi processi, mutevoli ed evolutivi, così come teorizzato da Andrea Branzi sulla scia delle teorie della modernità liquida di Bauman e, ancora prima, di Kelly (Bauman, 1999; Kelly, 1994). Nei sistemi agrivoltaici si rinvengono ibridazioni fra il contesto rurale e l'apporto delle infrastrutture per la produzione energetica capaci di prefigurare habitat sostenibili e *climate resilient* attraverso la concezione di soluzioni che contribuiscono ai processi di decarbonizzazione e di adattamento.
Lo sviluppo di habitat *climate resilient* favorisce la coesistenza fra componenti antropiche e ambientali e si basa su processi rigenerativi circolari in cui i cicli tecnologici sono il più possibile armonizzati e compatibili con i cicli naturali. Il riferimento è di un concetto di habitat che richiama quello di «paesaggio ambientale inteso [...] come materiale "vivo" su cui intervenire per dare risposte in termini progettuali alle nuove istanze insediative e abitative della società contemporanea» (Vittoria, 1979).

Diffusione dei sistemi agrivoltaici e strumenti di supporto alle decisioni per il progetto

Negli ultimi anni con la diffusione dei primi impianti agrivoltaici in ambito nazionale e internazionale e con la sperimentazione di soluzioni innovative capaci di migliorare la produttività agricola, e ridurre i rischi legati agli effetti del cambiamento climatico, si è aperto un dibattito sugli interventi ammissibili e sull'appropriata integrazione fra tecnologia e natura. Se da un lato i dati monitorati nei primi impianti realizzati restituiscono informazioni rassicuranti sulla produttività e sui benefici di tali soluzioni nel contrastare stress termico, idrico e biotico per le colture e nel proteggere da eventi atmosferici estremi come grandine, piogge e gelate primaverili tardive, dall'altro si sono accresciute le preoccupazioni per l'impatto sui paesaggi rurali (anche maggiore ri-

is identified as a measure to foster the development of carbon-neutral farms, and the transformation of the agricultural sector in a carbon- and climate-neutral key through the innovative organisation of 'agro-energy communities' (Abouaiana and Battisti, 2022).
Also at the national level, the deployment of agrivoltaic systems is one of the most interesting opportunities envisaged by Mission 2 Green Revolution and Ecological Transition of the National Recovery and Resilience Plan. This mission declares the goal of implementing a profound change to achieve the country's green, ecological and inclusive transition by favouring the circular economy, the development of renewable energy sources, and a more sustainable and climate resilient agriculture. The co-benefits related to the diffusion of agrivoltaic systems are multiple, starting with the lower risks compared to traditional agriculture, which is highly dependent on weather conditions and increasingly subject to the effects of climate change. Lower risks include protection from strong winds, hail or excessive sunlight, control of crop evapotranspiration processes, limitation of water requirements, and contrasting heavy rainfall and drought conditions (Klyk and Schindele, 2024).

Agrivoltaic systems for climate resilient habitats

Agrivoltaic systems can be framed in the category of biotech integrated systems on the basis of their characteristic of combining biotic components and advanced technological components, integrating crops and environmental contexts, settlement principles and technological systems, and natural environments to be enhanced in terms of protection and sustainable development. However, the implementation of agrivoltaic systems cannot be considered in the combination of its functional, productive and compatibility aspects between technology and the agricultural environment. It must, instead, be viewed taking into account the implications of the settlement components of innovative habitat models capable of finding new points of contact between the anthropised and natural spheres, structured according to open systems based on the canons derived from agriculture (Branzi, 2006) (Fig. 1). It proposes a model that structures and changes in symbiosis with nature and its changing and evolving processes, as theorised by Andrea Branzi in the wake of the liquid modernity theories of Bauman and, even earlier, Kelly (Bauman, 1999; Kelly, 1994). Agrivoltaic systems present hybridisations between the rural context and the contribution of energy production infrastructures capable of prefiguring sustainable and climate resilient habitats through the conception of solutions that contribute to decarbonisation and adaptation processes.
The development of climate resilient habitats favours the coexistence of human and environmental components. It is based on circular regenerative processes in which technological cycles are harmonised and compatible with natural cycles as far as possible. The reference is to a concept of habitat that recalls that of «environmental landscape understood [...] as a "living" material on which to intervene to give answers in design terms to the new settlement and housing instances of contemporary society» (Vittoria, 1979).

spetto agli impianti a terra) e per fattori quali il cambiamento delle colture, dei rilievi, delle tessiture storiche del paesaggio e, più in generale, del modello del paesaggio agricolo (Toledo and Scognamiglio, 2021).
In UE paesi come Francia, Paesi Bassi o Germania, normative chiare e incentivi mirati per l'implementazione di sistemi agrivoltaici hanno portato alla realizzazione del più alto numero di impianti in Europa[2]. In questi casi, un ampio consenso si è raggiunto sia con la collaborazione fra agricoltori e sviluppatori, sia con l'inclusione delle comunità locali nei processi decisionali. In Italia, al contrario, si rileva ancora un numero limitato di impianti installati, condizione principalmente dovuta a un ritardo nella definizione di quadri normativi, misure di incentivazione e linee di indirizzo[3].
Un ruolo rilevante nella diffusione di sistemi agrivoltaici è definito, infatti, dalla presenza di strumenti di supporto decisionale e validazione, fra cui emergono specifiche linee guida basate su requisiti e standard da applicare nella sinergia tra produzione agricola e generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Fra gli aspetti ricorrenti all'interno delle linee guida vi è l'incidenza sul rendimento agricolo ed economico, la riduzione degli impatti climatici, il miglioramento delle attività agro-zootecniche e la reversibilità degli impianti come fattori che devono essere simultaneamente rispettati e non essere compromessi.
Ulteriori strumenti di supporto, che si stanno recentemente diffondendo quali esiti di ricerche o sperimentazioni, sono *tool* digitali[4] che consentono di calcolare parametri specifici come la produzione di energia elettrica o la resa prevista delle colture con la simulazione di dati quali l'irradianza e la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) ottenibile con i sistemi proposti.

L'attività di ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II[5] è stata condotta nell'ambito del PTR 2022-2024 Progetto Integrato "Fotovoltaico ad alta efficienza" con l'obiettivo di definire strumenti di supporto per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici, a partire dalla costruzione di un quadro sistematizzato dei principali aspetti di innovazione tecnologica. In particolare, la sostenibilità ambientale perseguita nella ricerca riguarda i sistemi agrivoltaici che richiedono di essere concepiti e verificati in base a specifici indicatori ambientali e tecnologici per l'equilibrio degli ecosistemi e degli habitat, per il contenimento della pressione antropica sul paesaggio ambientale, per l'utilizzo di sistemi di risorse rinnovabili e naturali e per la riduzione degli impatti climatici che coinvolgono i fattori produttivi.

Aspetti di innovazione di prodotto, di processo e di progetto

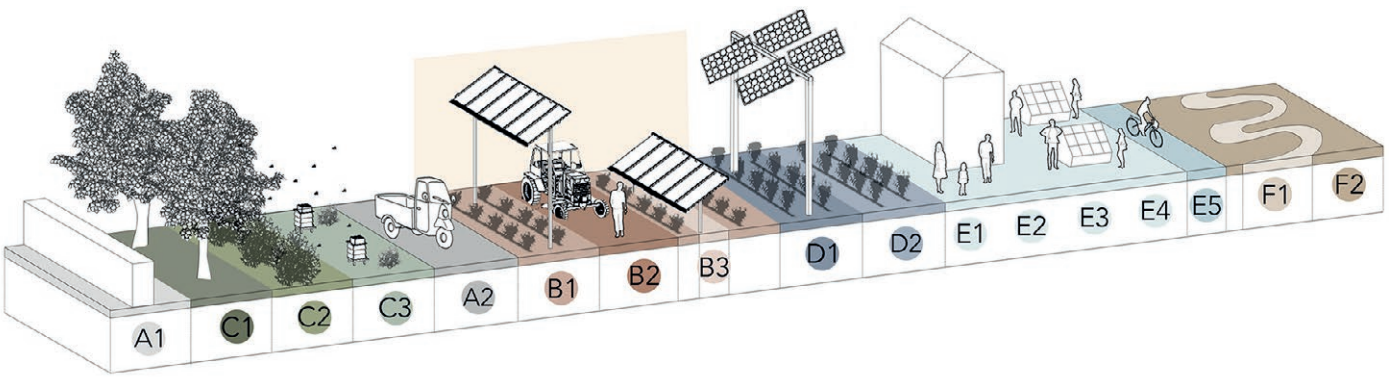
Un primo esito della ricerca ha riguardato l'elaborazione di un quadro sistematizzato dei principali aspetti di innovazione tecnologica, nonché delle ricadute in termini di sostenibilità legate all'utilizzo di sistemi agrivoltaici per la costruzione di habitat climate resilient. Attraverso una lettura sistemica delle componenti tecnologiche e agro-ambientali (Fig. 2), la schedatura di interventi realizzati in ambito nazionale e internazionale, nonché lo studio della produzione industrializzata di sistemi fotovoltaici per impianti agrivoltaici, sono stati definiti alcuni apporti innovativi per una risposta integrata alle molteplici istanze di carattere produttivo, energetico e ambientale degli impianti agrivoltaici. L'analisi della documentazione tecnica, il rapporto con gli *stakeholder*, la partecipazione a eventi di con-

Spread of agrivoltaic systems and decision support tools for the project
In recent years, with the spread of the first agrivoltaic installations nationally and internationally, and with the experimentation of innovative solutions capable of improving agricultural productivity and reducing the risks linked to the effects of climate change, a debate has opened up on eligible interventions and the appropriate integration of technology and nature. While the data monitored in the first implemented installations provide encouraging information on the productivity and benefits of such solutions in counteracting thermal, water and biotic stress on crops, and on protecting against extreme weather events such as hail, rain and late spring frost, concern has increased over the impact on rural landscapes (even greater than with ground-mounted installations) and on factors such as changing crops, relief, historical landscape textures and, more generally, the pattern of the agricultural landscape (Toledo and Scognamiglio, 2021).
In EU countries such as France, The Netherlands or Germany, clear regulations and targeted incentives for the implementation of agrivoltaic systems have led to the highest number of installations in Europe[2]. In these cases, a broad consensus was achieved both through collaboration between farmers and developers, and the inclusion of local communities in decision-making processes. Instead, in Italy there is still a limited number of systems installed, a condition mainly due to a delay in defining regulatory frameworks, incentive measures and guidelines[3].
A relevant role in the diffusion of agrivoltaic systems is defined by the presence of support and validation tools for decision-making. They include specific guidelines based on requirements and standards to be applied in the synergy between agricultural production and electricity generation from renewable sources. Recurring aspects within the guidelines include the impact on agricultural and economic performance, the reduction of climatic impacts, the improvement of agro-livestock activities, and the reversibility of plants as factors that must be simultaneously respected and not compromised.
Further supporting tools that have recently become more widespread as a result of research or experimentation are digital tools[4] that enable the calculation of specific parameters such as electricity production or expected crop yields by simulating data such as irradiance and photosynthetically active radiation (PAR) achievable with the proposed systems.

The research activity of the Department of Architecture, University of Naples Federico II[5], was conducted within the framework of the PTR 2022-2024 Integrated Project 'High Efficiency Photovoltaics'. The aim was to define support tools for environmental sustainability in the design of agrivoltaic systems, starting from the construction of a systematised framework of the main aspects of technological innovation. In particular, the environmental sustainability pursued by the research concerns agrivoltaic systems that require to be designed and verified on the basis of specific environmental and technological indicators for the balance of ecosystems and habitats, for the mitigation of anthropic pressure on the environmental landscape, for the use of renewable and natural resource systems, and for the reduction of climatic impacts involving production factors.

fronto e disseminazione promossi da associazioni, centri di ricerca e università più attive del settore, hanno consentito di delineare le principali tendenze in atto, nonché le caratteristiche di innovazione e sostenibilità dell'attuale offerta produttiva e progettuale.
Nel complesso, si rileva un'offerta produttiva caratterizzata da una personalizzazione di tipo *custom fit*, per adattarsi a diverse tipologie di colture e contesti ambientali. Gli impianti agrivoltaici sono infatti concepiti e realizzati ad hoc, caso per caso, e dunque risultano difficilmente riproponibili in linee produttive standardizzate. Le aziende del settore offrono pacchetti integrati di prodotti/servizio dall'alto valore aggiunto, affiancando i proprietari e i gestori degli impianti in tutte le fasi del processo decisionale, realizzativo e gestionale, fornendo un supporto tecnico decisivo ai fini della qualità degli interventi e garantendo l'affidabilità dei risultati in termini di produttività e di rapidi rientri economici.
L'analisi dei progetti nazionali e internazionali evidenzia un approccio progettuale che richiede una significativa attenzione nei confronti del contesto in cui si colloca l'intervento, mediante uno studio preliminare del territorio dal punto di vista geomorfologico, storico e paesaggistico, con un esame approfondito delle condizioni vincolistiche.
Nelle buone pratiche analizzate, emerge come le istanze della sostenibilità ambientale richiedano il rispetto e il miglioramento della biodiversità da parte del progetto, favorendo la connettività ecologica del territorio e delle sue aree naturali, migliorando la resilienza degli ecosistemi ai cambiamenti climatici, e prevedendo, laddove necessarie, misure di mitigazione e di compensazione ambientale volte a ridurre gli impatti ambientali generati dal progetto[6] (Fig. 3). La ricerca dell'equilibrio tra natura e artificio contempla la dimensione sistemica ed ecologica, la qualità paesaggistica e la sostenibilità degli interventi di trasformazione. Si afferma l'idea di un paesaggio produttivo come luogo del cambiamento in costante evoluzione, in cui ecosistemi multifunzionali forniscono benefici ecologici, sociali ed economici[7] (Fig. 4).
Il monitoraggio di dati in situ nei primi impianti realizzati restituisce risultati positivi in relazione alla resa agricola, ormai rilevabile in maniera affidabile in relazione all'incremento della qualità del raccolto. In Francia, uno studio condotto su sette impianti con coltivazioni differenti, monitorati nell'arco del triennio 2020-2023, ha evidenziato percentuali di incremento della produzione dal 10% al 40% per la viticultura, dal 13% al 20% per la frutticoltura, e dal 9% al 23% per le verdure[8]. Colture coltivate in ambiente agrivoltaico riescono a utilizzare l'acqua più efficientemente, tollerano meglio le temperature elevate e sono protette da eventi meteorologici quali grandine, stress termico, siccità. Al tempo stesso, la presenza di colture al di sotto dei pannelli fotovoltaici fa registrare incrementi nell'efficienza energetica e la produzione di energia elettrica, dovuti all'attività evapotraspirativa delle colture che provoca un raffrescamento della superficie dei pannelli, la riduzione dell'accumulo di polvere e altri materiali sui pannelli nonché l'aumento del fattore

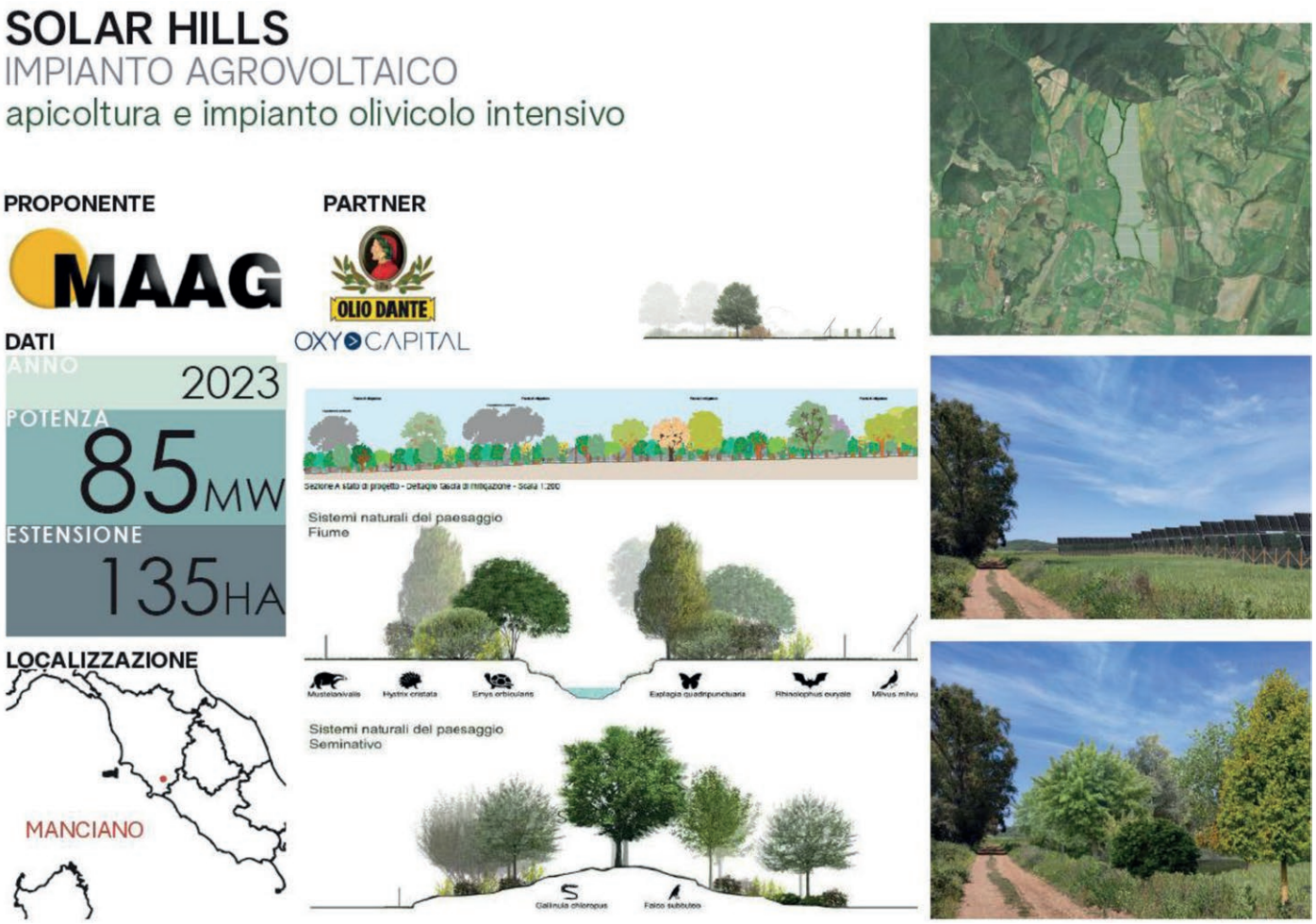
02 |



Subsistemi ambientali		Elementi spaziali
A. Accessibilità e connessioni	A1	Recinzione perimetrale
	A2	Accessibilità e passaggio carrabile
B. Volume agrivoltaico o *spazio poro*	B1	Aree per la coltivazione agricola
	B2	Accessibilità e passaggio per mezzi agricoli e persone
	B3	Area di ingombro dell'impianto (S_{PV})
C. Fasce di mitigazione	C1	Schermature visuali
	C2	Aree di rinaturalizzazione e salvaguardia della biodiversità
	C3	Aree di inserimento di specie vegetali e animali funzionali all'attività agricola
D. Aree di sperimentazione	D1	Aree di sperimentazione tecnologica
	D2	Terreno di controllo
E. Aree attrezzate per la comunità	E1	Aree attrezzate a scopo didattico
	E2	Aree per la trasformazione o consumo in loco
	E3	Aree attrezzate a scopo ricreativo
	E4	Aree per la vendita diretta
	E5	Accessibilità e percorsi per la mobilità lenta
F. Tare agricole	F1	Superfici occupate da elementi naturali e/o artificiali
	F2	Aree di buffer

03 | Impianto agrivoltaico in fase di autorizzazione a Manciano in Italia: progetto di soluzioni per il miglioramento della biodiversità, della connettività ecologica del territorio e delle sue aree naturali (Fonte: Progetto Verde Scarl – Studio di architettura del paesaggio)

Agrivoltaic plant, pending authorisation, in Manciano, Italy: design of solutions to improve biodiversity, ecological connectivity of the territory and its natural areas (Source: Progetto Verde Scarl – Landscape Architecture Studio)



Aspects of product, process and design innovation

A first research outcome concerned the development of a systematised framework of the main aspects of technological innovation, as well as the spin-offs in terms of sustainability linked to the use of agrivoltaic systems for the implementation of climate resilient habitats. Through a systemic reading of the technological and agro-environmental components (Fig. 2), the cataloguing of national and international interventions, and the study of industrialised production of photovoltaic systems for agrivoltaic systems, a number of innovative contributions were defined for an integrated response to the multiple production, energy and environmental demands of agrivoltaic systems. The analysis of technical documentation, the relationship with stakeholders, and participation in meetings and dissemination events promoted by the most active associations, research centres and universities in the sector, enabled to outline the main current trends, as well as the innovation and sustainability characteristics of the actual production and design offer.

Overall, there is a custom fit production offer designed to adapt to different types of crops and environmental contexts. Agrivoltaic systems are conceived and realised ad hoc, case by case. Hence, they are difficult to reproduce in standardised production lines. Companies in the sector offer integrated product/service packages with high added value, working alongside plant owners and operators in all phases of the decision-making, implementation and management process, providing decisive technical support for the quality of the interventions, and guaranteeing the reliability of the results in terms of productivity and rapid economic returns.

The analysis of national and international projects highlights a design approach that requires significant attention to the context in which the intervention is located. This is achieved by conducting a preliminary study of the territory from a geomorphological, historical and landscape point of view, with an in-depth examination of the constraining conditions.

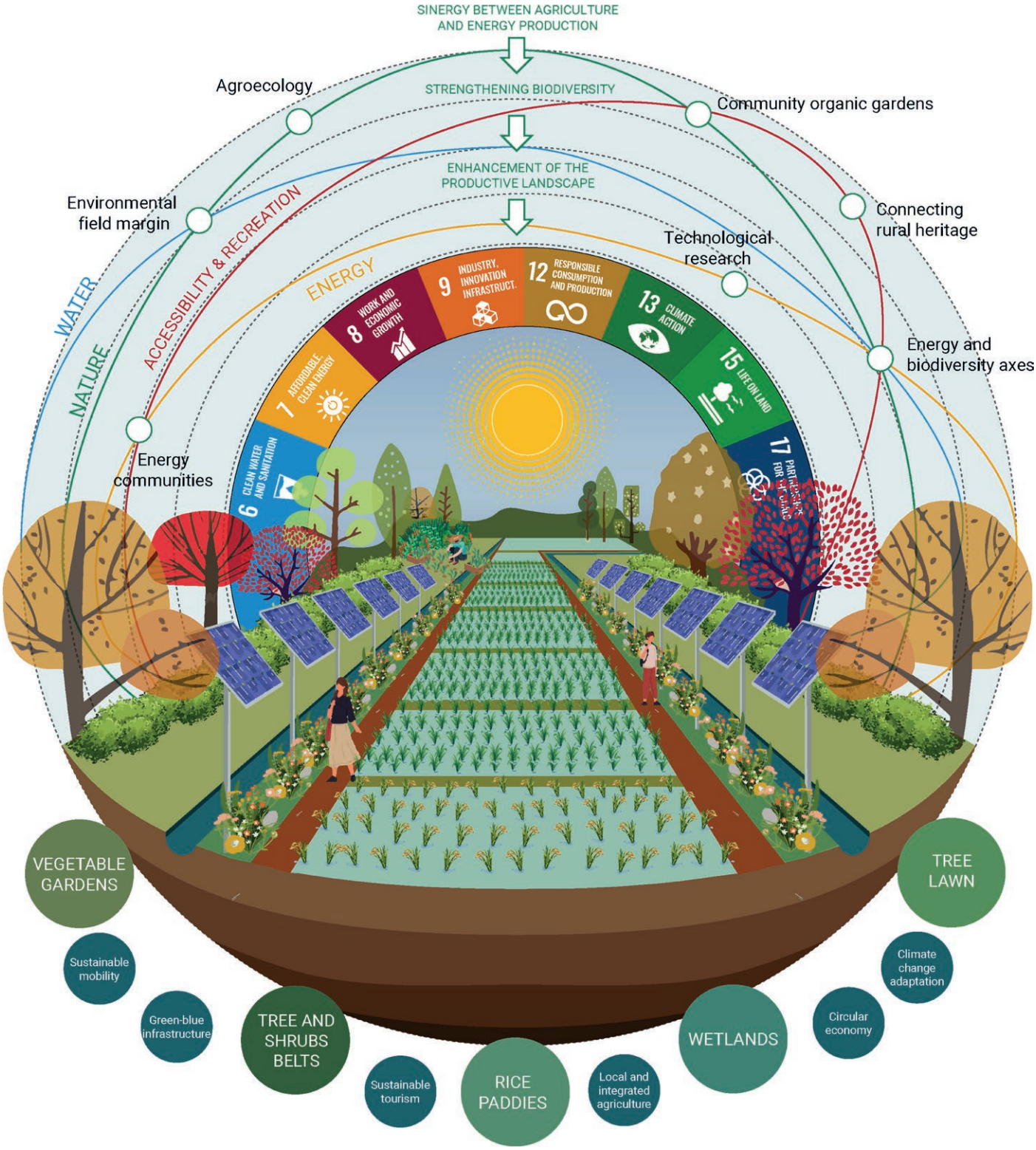
The good practices analysed reveal how the instances of environmental sustainability require the project to respect and improve biodiversity, favouring the ecological connectivity of the territory and its natural areas, improving the resilience of ecosystems to climate change, and foreseeing, where necessary, environmental mitigation and compensation measures aimed at reducing the environmental impacts generated by the project[6] (Fig. 3). The search for a balance between nature and artifice contemplates the systemic and ecological dimension, landscape quality and sustainability of transformation interventions. The concept of a productive landscape as a place of constantly evolving change, where multifunctional ecosystems provide ecological, social and economic benefits, is affirmed[7] (Fig. 4).

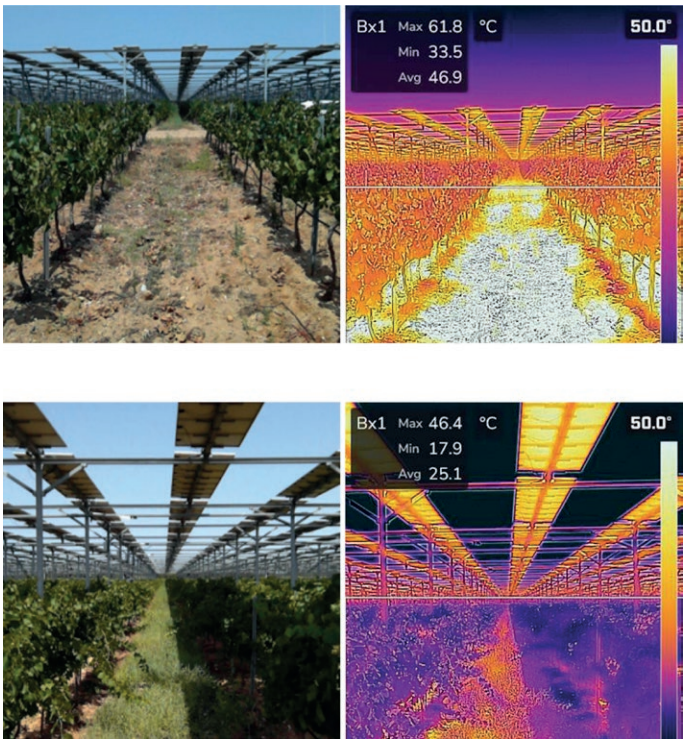
The monitoring of in situ data in the first plants installed provides positive results concerning crop yield, which can now be reliably measured in relation to increased crop quality. In France, a study conducted on seven plants with different crops, monitored over the three-year period 2020-2023, showed production increase rates from 10% to 40% for viticulture, from 13% to 20% for fruit growing, and from 9% to 23% for vegetables[8]. Crops grown in

04 | Interrelazioni fra la sfera dell'agricoltura, dell'energia e del paesaggio, con sinergie e ricadute sulla sostenibilità ambientale, sociale ed economica; co-benefici dei sistemi agrivoltaici rispetto alla biodiversità e alla qualità ecosistemica dei siti a supporto delle comunità locali; correlazioni con gli SDGs dell'Agenda 2030 (Fonte: LAND)

Interrelationships between agriculture, energy and landscape, with synergies and spillovers on environmental, social and economic sustainability; co-benefits of agri-environmental systems with respect to biodiversity and ecosystem quality of sites supporting local communities; correlations with the SDGs of Agenda 2030 (Source: LAND)

04 |





05 | Primo impianto pilota di agrivoltaico dinamico sui vigneti di Tresserre in Francia, inaugurato nel 2018. Termografie effettuate nel luglio 2023 (30°C temperatura aria): temperatura media sulla superficie delle vigne senza protezione (in alto) circa 47°C; temperatura con protezione agrivoltaica (in basso) circa 25°C (Fonte: Sun'Agri)

First dynamic agrivoltaic pilot plant on vineyards in Tresserre, France, opened in 2018. Thermographs taken in July 2023 (30°C air temperature): average temperature on the vineyard surface without protection (top) about 47°C; temperature with agrivoltaic protection (bottom) about 25°C (Source: Sun'Agri)

di albedo con la possibilità di impiegare celle bifacciali[9].
La maggior parte delle aziende produttrici di impianti agrivoltaici offre la possibilità di personalizzare le caratteristiche dei componenti in base alle esigenze colturali e microclimatiche, proponendo, per esempio, reti protettive da grandine e pioggia e teli mobili, opportunamente pilotati in remoto dagli operatori e progettati in modo che possano modificare automaticamente la propria configurazione in caso di improvvisi fenomeni climatici avversi. Schermi riflettenti dinamici, gestiti da sistemi centralizzati collegati ai sensori di temperatura e di luce, forniscono una regolazione della temperatura automatizzata in tempo reale, preservando le colture dai danni derivanti dal calore estremo e consentendo una costante regolazione microclimatica al di sotto dell'installazione[10]. Il recupero delle acque piovane costituisce un importante supporto alla gestione eco-efficiente della risorsa idrica, in particolar modo per le aree soggette a siccità. La movimentazione automatizzata dei *tracker* in modalità di captazione delle acque piovane fa sì che queste siano convogliate mediante canaline di gronda o canali interrati in appositi serbatoi o bacini di accumulo idrico e utilizzate in funzione delle specifiche esigenze colturali, per l'irrigazione e il lavaggio dei moduli fotovoltaici[11].
L'introduzione di stazioni di monitoraggio e di sensori – applicata sia ai sistemi di produzione energetica, che alle colture –, integrata con *software* e app di gestione per un controllo dei parametri ambientali in tempo reale, consente di ottimizzare le produzioni. Soluzioni quali il pilotaggio agronomico in remoto consentono di monitorare in continuo le prestazioni dell'impianto con modifiche istantanee, ottimizzando il benessere idrico, il controllo dei cicli evapotraspirativi e la crescita delle piante. Dai primi impianti realizzati si rileva come la possibilità di controllo dell'inclinazione degli inseguitori solari favorisca la protezione delle colture durante i fenomeni di ondata di calore, generando ombreggiature in grado di ridurre la temperatura dell'aria fino a 4°C e favorendo l'incremento dell'umidità fino al 14% (Lopez *et al.*, 2023). La protezione si rileva efficace anche rispetto alle gelate tardive, mantenendo al di sotto dei pannelli valori che raggiungono quasi 2°C in più grazie a specifici sistemi di protezione migliorando al contempo la qualità del raccolto[8] (Fig. 5).
L'impiego di *software* basati su IoT facilita la gestione integrata dell'impianto con strumenti innovativi di agricoltura digitale e di precisione, ottimizzando la produzione agricola ed energetica

an agrivoltaic environment are able to use water more efficiently, tolerate high temperatures better, and are protected from weather events such as hail, heat stress and drought. At the same time, the presence of crops underneath the photovoltaic panels leads to increases in energy efficiency and electricity production due to the evapotranspiration of the crops. This causes cooling of the panel surface, a reduction in the accumulation of dust and other materials on the panels, and an increase in the albedo factor with the possibility of using double-sided cells[9].
Most manufacturers of agrivoltaic systems offer the possibility of customising component characteristics according to crop and microclimatic needs, offering, for example, hail and rain protection nets and mobile screens, remotely piloted by operators and designed so that they can automatically change their configuration in the event of sudden adverse weather phenomena. Dynamic reflective screens, piloted by centralised systems connected to temperature and light sensors, provide real-time automated temperature regulation, preserving crops from extreme heat damage and allowing constant microclimate regulation below the installation[10]. Rainwater harvesting is an important support for eco-efficient water resource management, especially for drought-prone areas. The automated handling of trackers in rainwater harvesting mode ensures that rainwater is channelled via guttering or underground channels into special tanks or water storage basins, and used according to specific crop needs, for irrigation and washing of photovoltaic modules[11].
The introduction of monitoring stations and sensors – applied to both energy production systems and crops – integrated with management software and apps for real-time control of environmental parameters allows for optimised production. Solutions such as remote agronomic piloting allow continuous monitoring of plant performance with instantaneous changes, optimising water efficiency, control of evapotranspiration cycles and plant growth. Initial installations show how the possibility of controlling the inclination of solar trackers favours the protection of crops during heat wave phenomena, generating shading capable of reducing air temperature by up to 4°C and favouring an increase in humidity of up to 14% (Lopez *et al.*, 2023). The protection is also effective against late frost, maintaining values of up to almost 2°C below the panels thanks to specific protection systems, while improving crop quality[7] (Fig. 5).
The use of IoT-based software facilitates integrated plant management with innovative digital and precision farming tools, optimising agricultural and energy production and, thereby, increasing resilience to climate change[12]. User-friendly Web applications and cloud-based back-up offer intuitive access to measured data, providing tools and templates that allow users to extract valuable information for continuous improvement, make informed, data-driven decisions, and take appropriate maintenance and corrective actions to respond resiliently to new demand frameworks and any revamping or integration needs over time[13]. Environmental monitoring systems can provide farmers with useful information to optimise crop yields and obtain important feedback on the benefits of using photovoltaic roofing. Climate data collected by weather sta-

e favorendo in tal modo l'incremento della resilienza al cambiamento climatico[12]. Le applicazioni *web user friendly* e il *back up* in *cloud* offrono un accesso intuitivo ai dati misurati, fornendo strumenti e modelli che consentono agli utenti di estrarre informazioni preziose per il miglioramento continuo, di prendere decisioni informate e basate sui dati adottando opportune azioni manutentive e correttive per rispondere in chiave resiliente ai nuovi quadri esigenziali e a eventuali necessità di revamping o integrazione nel tempo[13]. I sistemi di monitoraggio ambientale possono fornire agli agricoltori utili informazioni per ottimizzare le rese agricole, ottenendo altresì *feedback* importanti sui vantaggi derivanti dall'impiego di coperture fotovoltaiche. I dati climatici raccolti dalle centraline meteo, trasmessi ai tracker, consentono di modificare in tempo reale il proprio assetto spaziale in caso di situazioni critiche e fenomeni meteorologici avversi[14].

Un *tool* per la valutazione della sostenibilità ambientale del progetto

Un ulteriore esito della ricerca è costituito dall'EASY APV tool (Environmental SustainabilitY of AgriPhotoVoltaic), uno strumento di supporto decisionale finalizzato a valutare i livelli di rispondenza di un progetto a sei obiettivi di sostenibilità ambientale che riguardano: O1. Integrazione fra produzione agricola ed energetica, O2. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica, O3. Efficienza della produzione energetica, O4. Resilienza climatica, O5. Salvaguardia e promozione della biodiversità, O6. Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo. Ogni obiettivo è specificato attraverso un set di requisiti a cui corrispondono uno o più indicatori di tipo qualitativo o quantitativo per i quali sono fissati dei valori-soglia (Fig. 6). Per la definizione degli indicatori si è tenuto conto dei principali strumenti normativi e indirizzi di natura non cogente vigenti in Italia, della letteratura tecnico-scientifica di riferimento e degli indirizzi europei sul tema della sostenibilità ambientale (CICES – *Common International Classification of Ecosystem Services)*. Per alcuni indicatori si è fatto riferimento ai punti di controllo contenuti nella *Matrice di Certificazione Volontaria Agrivoltaico Sostenibile®* redatta dall'Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile (AIAS)[15]. Gli indicatori, dopo un processo di normalizzazione, sono stati partizionati in tre classi, corrispondenti al livello di soddisfacimento dell'indicatore (0=basso; 1=medio; 2=alto).

Secondo un approccio gerarchico per ogni categoria – obiettivi, requisiti e indicatori – è stato attribuito un peso attraverso il metodo della conoscenza esperta. Il punteggio finale della valutazione è fornito dalla media pesata di tutti gli indicatori ed esprime quattro livelli di sostenibilità ambientale mentre, attraverso un grafico radar, sono visualizzabili i livelli di rispondenza del progetto analizzato rispetto ai sei obiettivi di sostenibilità ambientale (Fig. 7).

Il *tool* sviluppato in ambiente Excel ha una interfaccia *user friendly* con una schermata di avvio sintetica con obiettivi, requisiti e indicatori associati ai rispettivi pesi. Ogni indicatore rimanda a una scheda di approfondimento che definisce le finalità, il metodo di verifica, i riferimenti normativi e/o bibliografici e una sezione dedicata al calcolo.

Il *tool* è stato sottoposto a una fase di *testing*, con il duplice scopo da un lato di tarare soglie, *range* e *benchmark* degli indicatori, dall'altro di verificare la correttezza delle procedure e l'usabilità

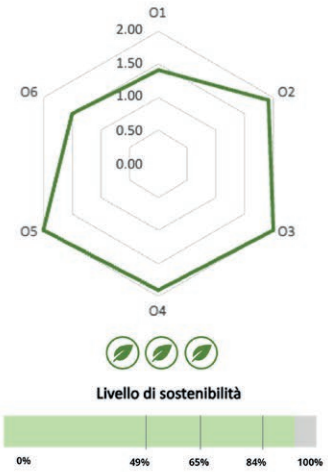
06 |

EASY APV tool
ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF AGRIPHOTOVOLTAIC

O	Obiettivi	peso rel.	R	Requisiti	peso rel.	peso ass.
O1	Integrazione fra produzione agricola ed energetica	20%	R1.1	Adeguatezza spaziale e tecnologica	100%	20%
O2	Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica	30%	R2.1	Produttività agricola	20%	6,0%
			R2.2	Ottimizzazione della radiazione solare al suolo nella sinergia impianto-colture	20%	6,0%
			R2.3	Gestione ecoefficiente della risorsa idrica	35%	10,5%
			R2.4	Tutela delle specie autoctone e/o endemiche	15%	4,5%
			R2.5	Conduzione di pratiche agricole sostenibili	10%	3,0%
O3	Efficienza della produzione energetica	10%	R3.1	Produttività energetica	25%	2,5%
			R3.2	Efficienza energetica	50%	5,0%
			R3.3	Promozione dell'autoconsumo e dell'autosufficiefficienza energetica	25%	2,5%
O4	Resilienza climatica	20%	R4.1	Regolazione del ciclo del carbonio	25%	5,0%
			R4.2	Verifica dei parametri microclimatici	25%	5,0%
			R4.3	Mitigazione degli impatti generati da eventi climatici estremi	50%	10%
O5	Salvaguardia e promozione della biodiversità	10%	R5.1	Tutela della funzionalità ecologica dell'habitat e della biodiversità vegetale e animale dei siti	100%	10%
O6	Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo	10%	R6.1	Circolarità delle risorse	50%	5%
			R6.2	Riduzione degli impatti sul suolo	50%	5%

07 | Verifica dell'applicabilità del tool nella sperimentazione progettuale di un parco agrivoltaico tra Grazzanise e Santa Maria La Fossa con esplicitazione, tramite diagramma radar, della rispondenza agli obiettivi di sostenibilità ambientale (Elaborazione: Emanuela Miele)

Testing applicability of the tool in the design experimentation of an agrivoltaic park between Grazzanise and Santa Maria La Fossa, specifying, by means of a radar diagram, its compliance with environmental sustainability objectives (Elaboration: Emanuela Miele)



dell'interfaccia. Il test è stato effettuato su un panel di cinque progetti esistenti selezionati al fine di coprire un campione diversificato di alternative progettuali. In particolare, la scelta del panel ha preso in considerazione parametri di tipo geografico, tecnologico (gli impianti sono di tipo elevato, con strutture di supporto a inseguimento monoassiale o biassiale, e interfilare con strutture a inseguimento monoassiale), colturale (le colture selezionate sono beneficiate o tolleranti all'ombreggiamento), dimensionale (da circa 10 a 60 he di estensione), energetico (impianti da 5 a 40 MWp di potenza).

Limiti, ricadute e prospettive di ricerca

L'adozione di sistemi di energia rinnovabile nel settore agricolo è considerata una strategia emergente decisiva per far fronte alla crescente domanda energetica attraverso lo sviluppo di modelli alternativi di produzione e di consumo, che puntino a una riduzione delle emissioni di gas serra e all'implementazione di misure di adeguamento agli impatti ambientali e socioeconomici. Le configurazioni dei sistemi agrivoltaici prevedono la generazione di reddito da una doppia fonte produttiva con forti impatti di mercato e di tipo sociale, determinando un miglioramento delle condizioni economiche delle comunità rurali (Giri and Mohanty, 2022). Migliorare le sinergie tra politiche agricole ambientali ed energetiche considerando non soltanto l'efficienza energetica ma anche la resa delle colture e l'incentivo alla biodiversità, può consentire di superare le sfide tecnologiche garantendo ricadute sostenibili per il futuro.

Emerge chiaramente la necessità di definire standard specifici univoci a livello europeo anche attraverso la costruzione di strumenti di supporto condivisi per il progetto in grado di favorire il controllo delle prestazioni integrate offerte (Chatzipanagi *et al.*, 2023). In

tions and transmitted to the trackers allow for real-time changes in spatial settings in the event of critical situations and adverse weather phenomena[14].

A tool for assessing the environmental sustainability of the project

A further outcome of the research is a decision-support tool aimed at assessing a project's levels of compliance with six environmental sustainability objectives: O1. Integration of agricultural and energy production, O2. eco-efficiency of agricultural and livestock production, O3. Efficiency of energy production, O4. Climate resilience, O5. Preservation and promotion of biodiversity, O6. Reduction of resource consumption and soil impacts. Each objective is specified through a set of requirements with one or more corresponding qualitative or quantitative indicators for which threshold values are set (Fig. 6). The principal regulatory instruments and guidelines of a non-binding nature in force in Italy, the technical-scientific literature of reference and the European guidelines about environmental sustainability (CICES – Common International Classification of Ecosystem Services) were taken into account in defining the indicators. For some indicators, reference was made to the checkpoints contained in the *Voluntary Certification Matrix for Sustainable Agrivoltaics®* drawn up by the Italian Association for Sustainable Agrivoltaics[15]. The indicators, after a normalisation process, were subdivided into three classes, corresponding to the level of satisfaction of the indicator (0=low; 1=medium; 2=high).

According to a hierarchical approach, each category – objectives, requirements and indicators – was given a weight through the expert knowledge method. The final evaluation score is provided by the weighted average of all indicators and expresses four levels of environmental sustainability while, through a radar graph, the levels of compliance of the analysed project with respect to the six environmental sustainability objectives can be visualised (Fig. 7).

The tool developed in Excel has a user-friendly interface with a start-up screen summarising objectives, requirements and indicators associated with their respective weights. Each indicator refers to an in-depth sheet that defines the objectives, the verification method, normative and/or bibliographical references, and a section dedicated to calculation.

The tool underwent a testing phase, with the dual purpose of calibrating thresholds, ranges and benchmarks of the indicators on the one hand, and verifying the accuracy of procedures and the usability of the interface on the other. The test was carried out on a panel of five existing projects selected to cover a diversified sample of project alternatives. In particular, the choice of the panel took into consideration parameters such as geography, technology (the plants are high, with monoaxial or biaxial tracking support structures, and inter-row with monoaxial tracking structures), cultivation (the selected crops either benefit from or are tolerant to shading), size (from about 10 he to 60 he of surface area), and energy (plants from 5 MWp to 40 MWp of power).

Limits, spin-offs and research perspectives

The adoption of renewable energy systems in the agricultural sector is

tal senso, gli esiti dell"attività di ricerca presentati sono orientati a sviluppare gli aspetti di convergenza in termini di sostenibilità e innovazione tecnologica attraverso la sistematizzazione delle informazioni e la proposta di un *tool* per il supporto decisionale.
Il *tool* si configura come uno strumento di supporto per i diversi attori coinvolti nei processi decisionali per la valutazione dell'efficacia, dell'efficienza e della sostenibilità ambientale degli interventi, attraverso la rispondenza a un quadro prestazionale integrato degli aspetti energetici, produttivi e ambientali. Lo strumento sviluppato sconta tuttavia il limite di essere stato testato su un numero ridotto di progetti, per quanto diversificati tra loro. Un ulteriore limite, legato alla ridotta disponibilità di dati, non ha consentito di applicare approcci di *threshold analisys* per calcolare i valori ottimali delle soglie degli indicatori, né tantomeno di determinare valori ottimali dei pesi mediante approcci di intelligenza computazionale. La struttura del *tool* è tuttavia implementabile, a valle di ulteriori attività di ricerca e sviluppo di progetti integrando il set di indicatori con ulteriori voci o affinando soglie e *benchmark* attraverso il reperimento di dati di monitoraggio.
Si prevede infatti che dati provenienti dal campo e da sensori saranno resi disponibili nella transizione del settore agroalimentare verso un ambiente sempre più permeato dall'innovazione digitale. Esistono molti *software* di *smart farming* che tendono a digitalizzare il sistema agricolo verso un obiettivo di agricoltura 4.0 e, come per altri settori, il futuro dell'agricoltura potrà essere basato sul supporto dell'intelligenza artificiale sia per il posizionamento strategico e la progettazione degli impianti, sia per la gestione delle risorse idriche e il monitoraggio delle condizioni meteorologiche e climatiche, fino all'utilizzo di componenti robotiche verso processi di produzione sempre più automatizzati. Le fasi di monitoraggio saranno essenziali per il controllo delle produzioni e delle attività agricole oltre che per il rispetto dei requisiti di sostenibilità. Tale cambiamento di scenario necessita però di nuove figure professionali – anche ibride – al fine di gestire la complessità di un ambito sempre più caratterizzato dalla pervasività delle tecnologie digitali, verso sistemi colturali sostenibili e tecnologicamente avanzati.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

I paragrafi 1, 2, 3 e 6 sono scritti da Valeria D'Ambrosio, i paragrafi 4 e 5 da Enza Tersigni.

NOTE

[1] La EU Solar Energy Strategy – parte del piano RepowerEU dell'UE – prevede un obiettivo di oltre 320 GW di capacità solare fotovoltaica di nuova installazione entro il 2025 e di quasi 600 GW entro il 2030. Queste capacità aggiuntive anticipate dovrebbero sostituire il consumo di 9 BCM di gas naturale all'anno entro il 2027.

[2] agrisolareurope.org/map/

[3] In ambito nazionale, a giugno 2022 il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con il supporto di CREA, GSE, ENEA, RSE pubblica le Linee Guida sugli Impianti Agrivoltaici (MASE, 2022) che definiscono i requisiti tecnici e le caratteristiche che un impianto deve possedere per essere qualificato come agrivoltaico. Con il decreto del MASE 22 dicembre 2023, n. 436, in vigore dal 14 febbraio 2024, sono stati definiti i criteri e le modalità per la concessione dei benefici. In data 16 maggio 2024, con decreto del Capo Dipartimento Energia n. 233, sono state approvate le Regole Operative, proposte dal GSE, relative al decreto ministeriale Agro-voltaico.

[4] Alcuni tool di riferimento sono: HyPErFarm project AGRIPV tool, Sandbox Solar's SPADE application o InSPIRE Financial Calculator.

seen as a decisive emerging strategy to meet the growing energy demand by developing alternative production and consumption models. The aim is to reduce greenhouse gas emissions and implement measures to adapt to environmental and socio-economic impacts. Agrivoltaic system layouts involve income generation from a dual production source with strong market and social impacts, leading to improved economic conditions for rural communities (Giri and Mohanty, 2022). Improving synergies between agricultural, environmental and energy policies by considering not only energy efficiency but also crop yields and biodiversity incentives will overcome technological challenges and ensure sustainable spillovers for the future.
The need clearly emerges to define specific univocal standards at a European level also through the construction of shared support tools for the project, studied to favour control of the integrated performance offered (Chatzipanagi *et al.*, 2023). In this sense, the outcomes of the research presented are geared towards developing convergence aspects in terms of sustainability and technological innovation through the systematisation of information, and the proposal of a decision support tool.
The tool is a support device for the various actors involved in decision-making processes evaluating the effectiveness, efficiency and environmental sustainability of interventions, considering compliance with an integrated energy, production and environmental performance framework. The tool developed has the limitation of having been tested on a small number of projects, however diverse they may be. A further limitation, linked to the limited availability of data, was that threshold analysis approaches could not be applied to calculate optimal values for indicator thresholds. Furthermore, optimal values could not be determined for weights by means of computational intelligence approaches. However, the structure of the tool can be implemented after further research and project development by supplementing the set of indicators with additional items, or by refining thresholds and benchmarks through the retrieval of monitoring data.
Indeed, it is expected that data from the field and from sensors will be made available in the transition of the agri-food sector towards an environment increasingly permeated by digital innovation. There are many smart farming software that tend to digitise the agricultural system towards a goal of Agriculture 4.0. Indeed, as in other sectors, the future of agriculture may be based on the support of artificial intelligence both for strategic positioning and plant design, as well as for the management of water resources and weather and climate monitoring, up to the use of robotic components for an automated agricultural production process. Monitoring processes will be essential for controlling agricultural production and activities, as well as for meeting sustainability requirements. However, this change of scenario requires new professional figures – even hybrids – to manage the complexity of a field increasingly characterised by the pervasiveness of digital technologies favouring sustainable and technologically advanced cultivation systems.

[5] Il gruppo di ricerca dell'Università di Napoli Federico II è costituito: per il Dipartimento di Architettura da V. D'Ambrosio, E. Tersigni, (Coordinamento) M. Losasso, M. Rigillo, C. Girardi, F. Marandino, G. Santomartino; per il Dipartimento di Agraria da E. Cervelli, S. Pindozzi, F. Castaldi, S. Mokrane, P. F. Recchi; per ENEA-TERIN da A. Scognamiglio.

[6] progettoverde.eu.

[7] landsrl.com.

[8] sunagri.fr.

[9] Norma UNI/PdR 148:2023.

[10] insolight.ch.

[11] kenergia.it.

[12] i-pergola.it.

[13] givamisura.com.

[14] insolight.ch.

[15] Dal 2024 SIT*d*A è entrata a far parte dei Soci AIAS e un gruppo di Soci SIT*d*A del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II è parte di un comitato tecnico-scientifico finalizzato alla revisione e validazione dei punti di controllo contenuti nella *Matrice di Certificazione Volontaria Agrivoltaico Sostenibile®* redatta dall'AIAS.

REFERENCES

Abouaiana, A.A. and, Battisti, A. (2022), "Multifunction Land Use to Promote Energy Communities in Mediterranean Region. Cases of Egypt and Italy", *LAND*, Vol. 11, pp. 1-24. Available at: https://doi.org/10.3390/land11050673 (Accessed on 26/12/2024).

Bauman, Z. (1999), *Modernità liquida*, il Mulino, Bologna.

Branzi, A. (2006), *Modernità debole e diffusa, Il mondo del progetto all'inizio del XXI secolo*, SKIRA, Ginevra-Milano.

Chatzipanagi, A., Taylor, N. and Jaeger-Waldau, A. (2023), *Overview of the potential and challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Available at: doi:10.2760/208702 (Accessed on 26/12/2024).

Chalkias, D.A., Stathatos, E. (2024), *The Emergence of Agrivoltaics*, Springer International Publishing, Svizzera.

Giri, N.C., Mohanty, R.C. (2022), "Agrivoltaic system: Experimental analysis for enhancing land productivity and revenue of farmers", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 70, pp. 54-61. Available at: https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.07.003 (Accessed on 26/12/2024).

Lopez, G., Chopard, J., Persello, S., Juillion, P., Lesniak, V., Vercambre, G., Génard, M. and Fumey, D. (2023), "Agrivoltaic systems: an innovative technique to protect fruit trees from climate change", *Proceeding of XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Innovative Perennial Crops Management*. Available at: doi:10.17660/ActaHortic.2023.1366.20 (Accessed on 26/12/2024).

Kelly, K. (1994), *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems, and the Economic World*, Addison-Wesley, Boston.

Klyk, C. and Schindele, S. (Eds.) (2024), *Agrivoltaics: Technical, ecological, commercial and legal aspects, The Institution of Engineering and Technology*, London, United Kingdom.

SolarPower Europe (2022), *EU Market Outlook for Solar Power 2022-2026*. Available at: https://api.solarpowereurope.org/uploads/5222_SPE_EMO_2022_full_report_ver_03_1_319d70ca42.pdf?updated_at=2022-12-19T08:21:34.541Z (Accessed on 26/12/2024).

Toledo, C., Scognamiglio, A. (2021), "Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)", *Sustainability*, vol. 13,6871. Available at: https://doi.org/10.3390/su13126871 (Accessed on 26/12/2024).

Vittoria, E. (1979), "Abitabilità della campagna: il rapporto agricoltura-architettura", in Gangemi V. (a cura di), "L'habitat agricolo del basso volturno", Istituto di Tecnologia dell'Architettura, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli, Napoli.

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGEMENTS, COPYRIGHT

Paragraphs 1, 2, 3 and 6 are written by Valeria D'Ambrosio, paragraphs 4 and 5 by Enza Tersigni.

NOTES

[1] The EU Solar Energy Strategy – part of the EU's RepowerEU plan – includes a target of more than 320 GW of newly installed solar PV capacity by 2025 and almost 600 GW by 2030. These additional anticipated capacities are expected to replace the consumption of 9 BCM of natural gas per year by 2027.

[2] agrisolareurope.org/map/

[3] At a national level, in June 2022 the Ministry of the Environment and Energy Security, with the support of CREA, GSE, ENEA, and RSE, published the Guidelines on Agrivoltaic Plants (MASE, 2022) that define the technical requirements and characteristics a plant requires to be qualified as agrivoltaic. MASÈs decree no. 436 of 22 December 2023, in force since 14 February 2024, defined the criteria and methods for granting benefits. On 16 May 2024, with the decree of the Head of the Energy Department no. 233, the Operational Rules, proposed by the GSE, were approved in relation to the Agrivoltaic Ministerial Decree.

[4] Some reference tools are: HyPErFarm project AGRIPV tool, Sandbox Solar's SPADE application or InSPIRE Financial Calculator.

[5] The research group of the University of Naples Federico II includes: for the Department of Architecture V. D'Ambrosio, E. Tersigni, (Coordination) M. Losasso, M. Rigillo, C. Girardi, F. Marandino, G. Santomartino; for the Department of Agriculture E. Cervelli, S. Pindozzi, F. Castaldi, S. Mokrane, P. F. Recchi; for ENEA-TERIN A. Scognamiglio.

[6] progettoverde.eu.

[7] landsrl.com.

[8] sunagri.fr

[9] Standard UNI/PdR 148:2023.

[10] insolight.ch.

[11] kenergia.it.

[12] i-pergola.it.

[13] givamisura.com.

[14] insolight.ch.

[15] Since 2024, the Italian Society of Architectural Technology (SIT*d*A) has become a member of the Italian Sustainable Agrivoltaic Association (AIAS). A group of SIT*d*A members from the Department of Architecture, University of Naples Federico II is part of a technical-scientific committee aimed at reviewing and validating the checkpoints contained in the Voluntary Certification Matrix for Sustainable Agrivoltaics® drawn up by AIAS.

Sistemi innovativi di coltivazione urbana, come strategie per la neutralità carbonica

Marco Migliore, https://orcid.org/0000-0001-8230-5032 marco.migliore@polimi.it
Matteo Clementi, https://orcid.org/0000-0001-7315-5212 matteo.clementi@polimi.it
Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

Abstract. Il *paper* presenta alcuni esiti del progetto Bioloop, vincitore del bando *Polisocial* 2023, e più nello specifico descrive lo sviluppo di alcuni prototipi per la coltivazione su superfici impermeabili nelle aree urbane. L'obiettivo della ricerca è quello di favorire la neutralità carbonica, attraverso l'uso di tecnologie suggerite nel PGT di Milano (rinaturalizzazione; materiali sostenibili; ridotto consumo idrico e superfici con un alto coefficiente di riflettanza solare) e in linea con le indicazioni OCSE. I prototipi sono stati progettati a partire da risorse di prossimità (scarti da scenari di economia circolare iper-locale), prodotti attraverso l'avvio di micro-filiere locali (sostegno ai quartieri fragili) e attraverso esperienze di autocostruzione (coesione sociale di quartiere).

Parole chiave: *Circular economy; Carbon neutrality; Urban farming; Sustainable materials; Renaturalization.*

Introduzione: il contesto di riferimento e la necessità di innovazione alla scala urbana

Le città coprono circa il 3% del territorio mondiale e producono circa il 72% di tutte le emissioni globali di gas serra (EC, 2020a). Nelle città contemporanee si concentra il 55,3% della popolazione globale *(UN*, 2018) pari a circa 4,2 miliardi di abitanti, dati che secondo le previsioni delle Nazioni Unite cresceranno fino al 60% entro il 2030 e fino al 68% entro il 2050, raggiungendo quota 6,6 miliardi di abitanti, stime specifiche del contesto europeo salgono fino all'85% (EC, 2020a). Di questo passo, una persona su tre vivrà in una città con almeno mezzo milione di abitanti, con il conseguente spopolamento delle aree rurali e un ulteriore incremento del carico ambientale nelle città. Le ricadute negative di questa situazione si percepiscono in modo evidente anche attraverso altri studi (C3S, 2024; HEI, 2024) che hanno messo in evidenza il progredire del riscaldamento globale e di temperature anomale su tutta l'area geografica europea. Ciò non può essere trascurato e necessita di strategie *(IPCC,* 2023; UN Habitat, 2024) per la ridefinizione degli insediamenti urbani, che siano rapide e comprensive anche di altre esigenze umane (migliorare la salute e i mezzi di sussistenza; ridurre la povertà e la fame; energia, acqua e aria pulite). Sulla base di queste premesse e sulle evidenze di uno studio europeo (EC, 2020b), il progetto presentato assume la scala urbana come dimensione per la sperimentazione, poiché i cambiamenti attuati nel perimetro urbano hanno maggiori ricadute sia per la densità abitativa, sia per l'approccio strategico adottato, sia perché esistono molteplici target e obiettivi comuni tra i diversi operatori locali. A conferma di quanto detto, e con l'impegno di sostenere le trasformazioni a scala urbana sono stati istituiti degli organismi cooperanti di città sostenibili (*Covenant of Mayors for Climate & Energy*, la *Carbon Neutral Cities Alliance*, le *C40 Cities* e ICLEI); associazioni che hanno aderito al *Climate Ambition Alliance* per favorire la riduzione delle emissioni in atmosfera entro il 2030. Il progetto presentato trova applicazione nel comune di Milano, che aderisce ad alcuni dei raggruppamenti citati, e nel 2020, con l'attuazione delle proposte di compensazione del Piano di Governo del Territorio – PGT (Comune di Milano, 2020a), ha delineato delle strategie che potrebbero portare a vantaggi ambientali diffusi.

Il progetto *Bioloop*, accertato il vantaggio della scala urbana e delle strategie già messe in atto dal Comune di Milano, supporta la neutralità carbonica attraverso la progettazione di sistemi innovativi di coltivazione urbana, su superfici verticali e all'interno di contenitori su superfici impermeabili. Nel primo caso

Innovative urban farming systems as strategies for carbon neutrality

Abstract. The paper presents some results of the Bioloop project, winner of the Polisocial 2023 call, and specifically describes the development of some prototypes for cultivation on impervious surfaces in urban areas. The research aims to promote carbon neutrality, using technologies suggested in the PGT of Milan (renaturalisation; sustainable materials; reduced water consumption, and surfaces with a high solar reflectance coefficient), and in line with the OECD indications. The prototypes were designed based on local resources (waste from hyperlocal circular economy scenarios) and produced through the start of local micro-supply chains (support for fragile neighbourhoods) and self-construction experiences (neighbourhood social cohesion).

Keywords: Circular economy; Carbon neutrality; Urban farming; Sustainable materials; Renaturalisation.

Introduction: the reference context, the need for innovation at the urban scale

Cities cover approximately 3% of the world's land area and produce approximately 72% of all global greenhouse gas emissions (EC, 2020a). Contemporary cities are home to 55.3% of the worldwide population (UN, 2018), with approximately 4.2 billion inhabitants. According to United Nations forecasts, this percentage will grow to 60% by 2030 and to 68% by 2050, reaching 6.6 billion inhabitants. Specific estimates for the European context rise to 85% (EC, 2020a). At this rate, one in three people will live in a city with at least half a million inhabitants, with the consequent depopulation of rural areas and a further increase in the environmental burden in cities. The negative consequences of this situation are also found in other studies (C3S, 2024; HEI, 2024), which have highlighted the progress of global warming and anomalous temperatures across the entire European geographical area. This cannot be overlooked and requires strategies (IPCC, 2023; UN Habitat, 2024) for the redefinition of urban settlements, which are rapid and also comprehensive of other human needs (improving health and livelihoods; reducing poverty and hunger; clean energy, water and air). Based on these premises and the evidence of a European study (EC, 2020b), the project presented assumes the urban scale as a dimension for experimentation, since the changes implemented in the urban perimeter have greater repercussions both for population density and for the strategic approach adopted, and because there are multiple targets and common objectives between the different local operators. Cooperative

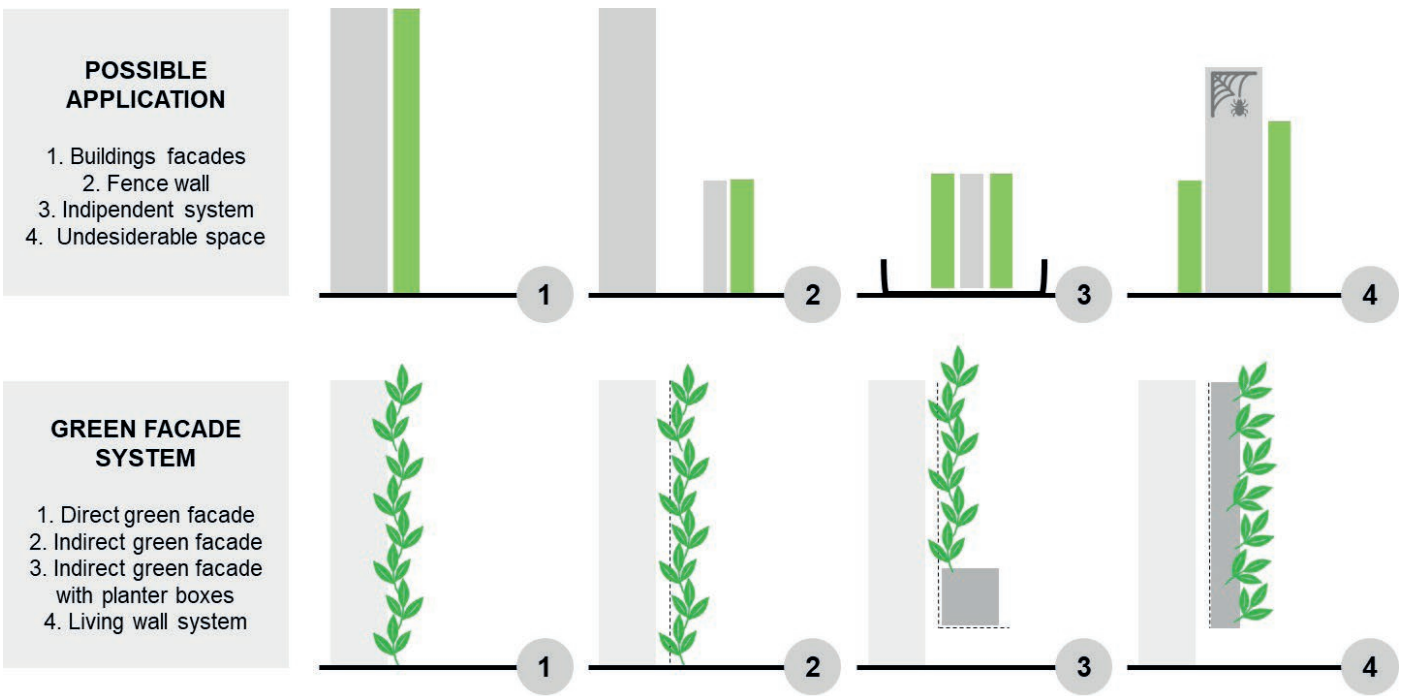
ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16531

01 | Schematizzazione delle possibili integrazioni dei sistemi di coltivazione urbana all'interno del tessuto urbano esistente e integrazione con le superfici verticali
Schematic of the possible integrations of urban cultivation systems within the existing urban fabric and integration with vertical surfaces

la sperimentazione mira a rigenerare le superfici verticali opache urbane trasformandole in aree verdi coltivabili, favorendo produzione agricola, riduzione dell'inquinamento atmosferico e rinaturalizzazione della città, nel secondo caso mira a rigenerare e rendere produttive alcune superfici urbane che non possono esserlo (terreni potenzialmente contaminati, piazze, aree tutelate, ecc.). Bioloop mira quindi a sfruttare l'agricoltura urbana come strumento per lo sviluppo della sostenibilità delle città (Lovell, 2010), sia perché contribuirà al sostentamento della popolazione, sia perché è uno strumento di naturalizzazione delle città. Le sperimentazioni agricole urbane condotte nel mondo hanno evidenziato (de Oliveira Alves *et al*., 2024) vantaggi ambientali (valorizzazione dei rifiuti, riduzione del consumo di acqua, efficienza energetica e riduzione delle emissioni) e vantaggi economici (avvio di nuove imprenditorialità), condizione che oltre a favorire la neutralità carbonica potrebbe rappresentare un nuovo motore per l'economia delle città.

Metodo di ricerca

Lo studio presentato nel paper si articola in tre fasi.
Nella fase 1 è stato condotto uno studio bibliografico sulle forme di integrazione del verde in ambito urbano (Fig. 1) rispetto ai possibili inserimenti nel tessuto edilizio (facciate opache, muri di recinzione, barricate ferroviarie, cavalcavia, etc.) e alla tipologia di integrazione, diretta o indiretta, con o senza relazioni con il terreno (Hoffmann *et al*., 2023). Le tipologie descritte rientrano nella classificazione delle "VGS – *Vertical Greening Systems*" (Irga *et al*., 2023) e sono in linea con le definizioni più diffuse (EC, 2023a; IUCN, 2018; Cost Actions, 2022) che riconoscono le VGS come "NBS – *Nature-based Solutions*".
Nella fase 2, per preservare le superfici degli edifici e per rendere gli elementi sostituibili e quindi garantire una totale reversibilità, è stato definito che l'ambito di sperimentazione sarebbe stato quello dei sistemi indiretti dotati di vasche di coltivazione. La progettazione è stata supportata dagli strumenti operativi di Bioloop (Fig. 2), che consentono di recuperare risorse locali, mappate e codificate, (LA – *Local Atlas of materials flows*) e di utilizzarle/assemblarle seguendo progetti open-source (OSPH – *Open-Source Project Hub*). La scelta di usare risorse locali recuperate sostiene l'economia circolare a scala urbana (impatto zero e allungamento della vita utile) e conferma la circolarità della progettazione eseguita. Le caratteristiche citate sono al centro di uno studio (Hawes *et al*., 2024) che mette in luce i vantaggi dell'agricoltura urbana rispetto a quella tradizionale, ma soprattutto evidenzia quali siano le colture più indicate in ambito urbano per guadagno nel sequestro di carbonio. Lo studio sottolinea inoltre che i grandi vantaggi dell'agricoltura urbana sono la riduzione degli impatti del trasporto, la riduzione nel consumo di materiali, la riduzione dell'uso di pesticidi, ecc.
I prototipi studiati sono tre (Fig. 3): il primo prevede un attacco indiretto alla facciata, viene costruito sfruttando pallet in legno recuperati o rigenerati, il contenitore del terreno verrà realizzato

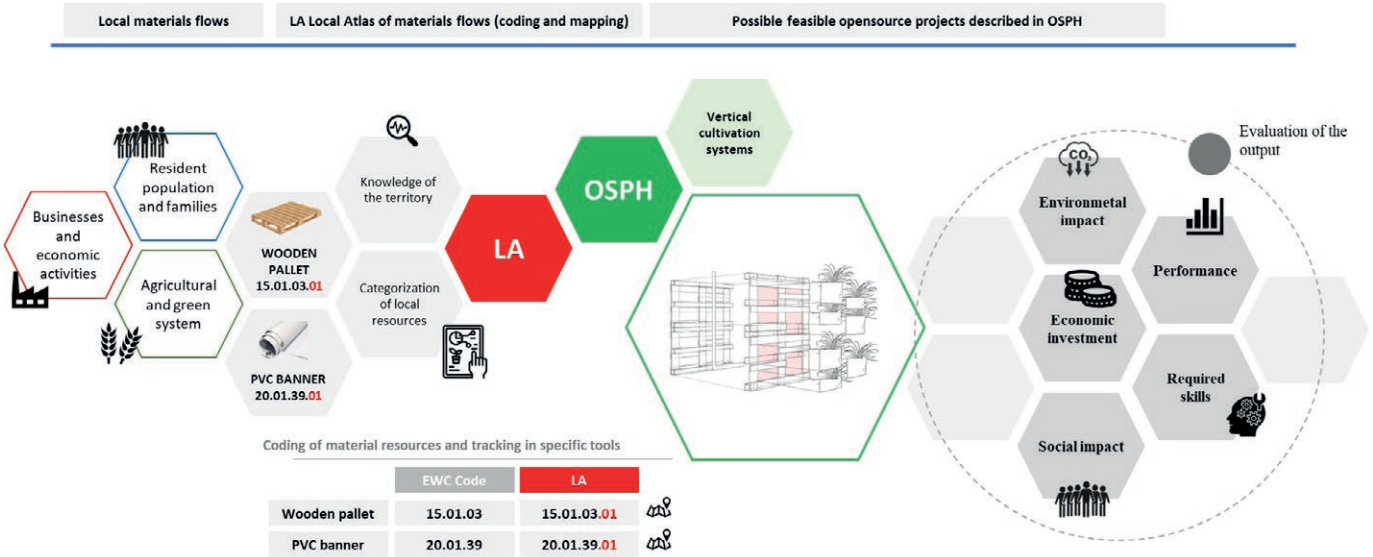


| 01

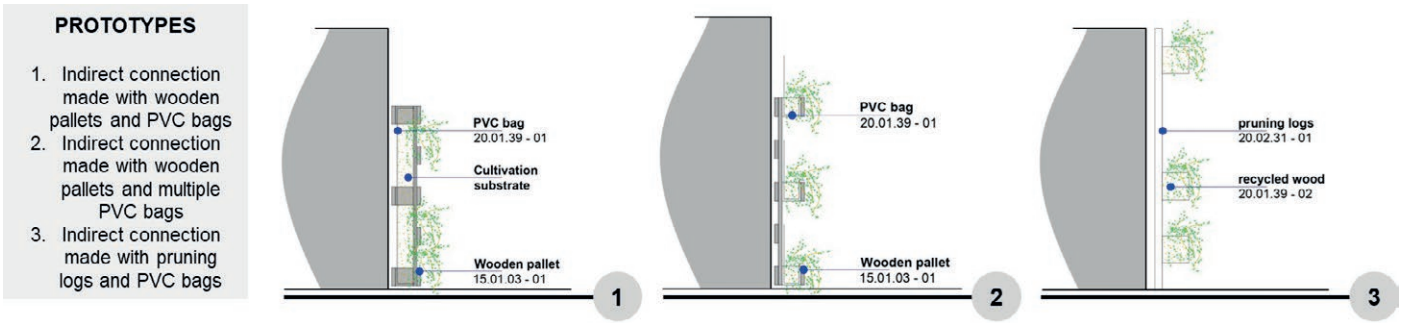
02 | Schematizzazione degli strumenti operativi di Bioloop
Schematic of the operational tools of Bioloop

03 | Schematizzazione dei prototipi progettati per i sistemi di coltivazione
Schematic of the prototypes designed for the cultivation systems

02 |



03 |



groups of sustainable cities have been established to confirm what has been said, and with the commitment to support transformations at the urban scale (Covenant of Mayors for Climate & Energy, the Carbon Neutral Cities Alliance, the C40 Cities and ICLEI), namely associations that have joined the Climate Ambition Alliance to promote the reduction of atmospheric emissions by 2030. The project presented is applied in the Municipality of Milan, which adheres to some of the groupings mentioned. In 2020, with the implementation of the compensation proposals of the Territorial Government Plan – PGT (Municipality of Milan, 2020a), it outlined strategies that could lead to widespread environmental benefits.

The Bioloop project, starting from the advantage of the urban scale and the strategies already implemented by the Municipality of Milan, supports carbon neutrality by designing innovative urban cultivation systems on vertical surfaces and inside containers on impervious surfaces. In the first case, the experimentation aims to regenerate opaque urban vertical surfaces by transforming them into cultivable green areas, promoting agricultural production, reducing air pollution, and renaturalisation of the city. In the second case, it aims to regenerate and make productive some urban surfaces that cannot be productive (potentially contaminated land, protected areas, etc.). Hence, Bioloop aims to exploit urban agriculture as a tool for the development of sustainability in cities (Lovell, 2010), both because it will contribute to the sustenance of the population and because it is a tool for the naturalisation of cities. Urban agricultural experiments conducted around the world have highlighted (de Oliveira Alves *et al.*, 2024) environmental advantages (waste valorisation, reduction of water consumption, energy efficiency, and reduction of emissions) and economic advantages (start-up of new businesses), which in addition to promoting carbon neutrality could be a new driver for the economy of cities.

Research method

The study presented in this paper is divided into three phases.

In phase 1, a bibliographic study was conducted on the forms of integration of greenery into urban areas (Fig. 1), considering its possible insertion in the building fabric (opaque façades, boundary walls, railway barricades, overpasses, etc.) and the type of integration, either direct or indirect, with or without relations with the ground (Hoffmann *et al.*, 2023). The typologies described fall within the "VGS – Vertical Greening Systems" classification (Irga *et al.*, 2023), and are in line with the most widespread definitions (EC, 2023a; IUCN, 2018; Cost Actions, 2022), which recognise VGS as "NBS – Nature-based Solutions".

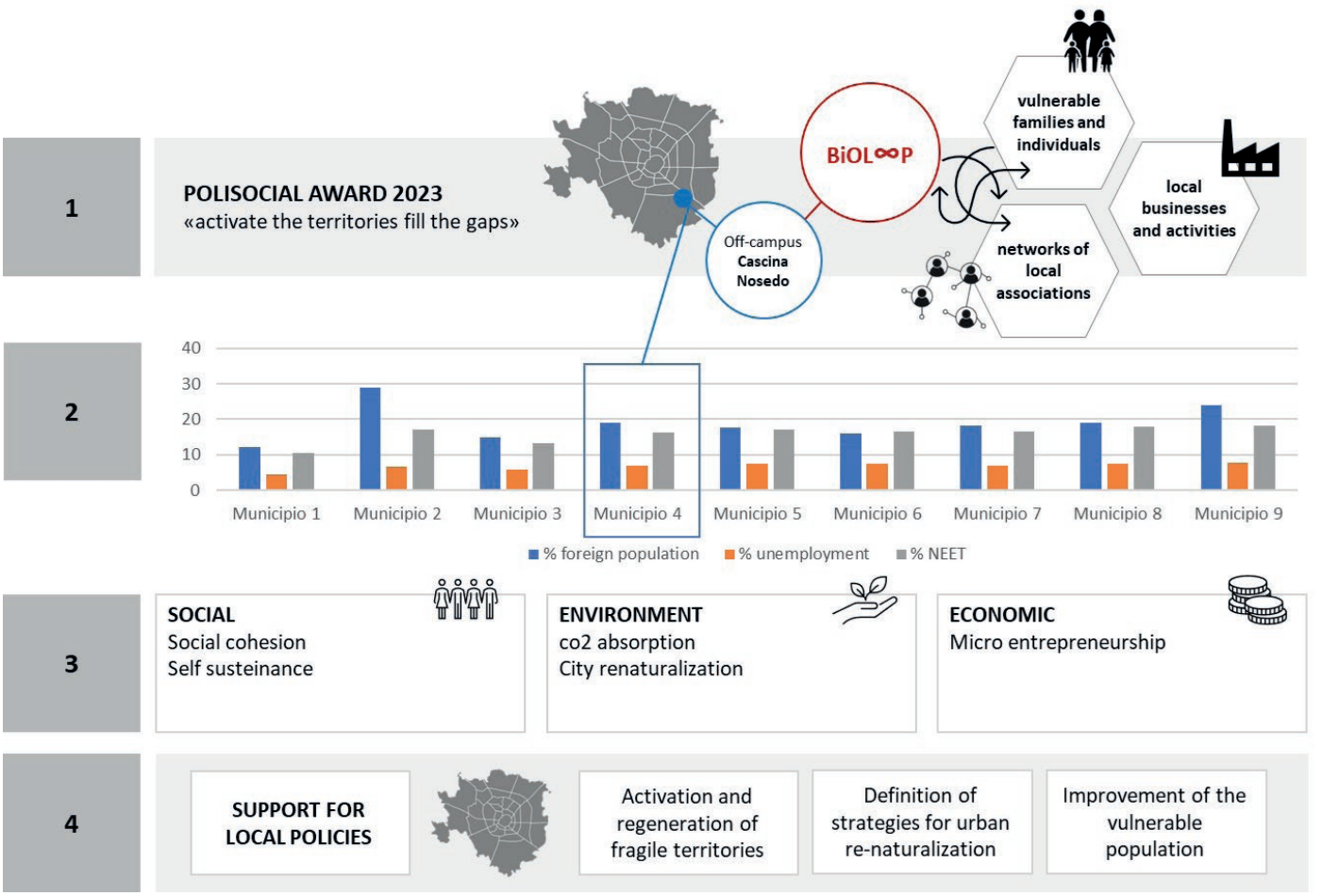
In phase 2, to preserve building surfaces and to make the elements replaceable and, therefore, to guarantee total reversibility, it was defined that the experimental scope would be that of indirect systems equipped with cultivation tanks. The design was supported by the operational tools of Bioloop (Fig. 2), which allow the recovery of local resources, mapped and codified (LA – Local Atlas of materials flows), and their use/assembly following open-source projects (OSPH – Open-Source Project Hub). The decision to use recovered local resources supports

creando delle borse con i banner pubblicitari in PVC e il terriccio verrà ammendato con compost di qualità autoprodotto; il secondo prevede un attacco indiretto e sfrutta gli spazi residuali del pallet per inserire borse in PVC, in questo caso cresce lo spazio tra una pianta e l'altra offrendo la possibilità di coltivazione di piante anche più alte; il terzo prototipo prevede un attacco indiretto e l'uso di rami da potatura per la struttura di sostegno, i contenitori vengono realizzati con legno riciclato e il loro posizionamento è scandito secondo necessità produttiva (produzione orticola o di aromatiche) e quindi dall'esigenza di crescita delle piante.
Nella fase 3 viene esaminata la relazione tra il progetto e il territorio, sia in termini di produzione a sostegno della popolazione vulnerabile, sia in termini di avvio di micro-filiere locali. Bioloop è uno dei progetti vincitori del *Polisocial Award* 2023, l'iniziativa del Politecnico che mira a connettere l'università con i quartieri della città, anche attraverso la presenza degli *off-campus* (centri di ricerca e sperimentazione fuori dal campus universitario). La sede operativa di *Bioloop* è l'off-campus cascina Nosedo, situato nella periferia sud di Milano, all'interno del quartiere Corvetto-Chiaravalle, che diviene ambito di sperimentazione (Fig. 4). La scelta di questo quartiere non è casuale, ma motivata dalla presenza di realtà sociali complesse, caratterizzate da eterogeneità culturale, disagio economico, alto indice di abbandono scolastico, ecc., caratteristiche che si intende colmare con l'avvio delle sperimentazioni proposte (Sacchi *et al.,* 2018). Nella fase 3 si tiene conto anche dell'interazione tra i territori, i loro amministratori e la produzione di cibo, in una logica di "*food system planning*" (*Cabannes et al.*, 2018), ovvero quella forma di innovazione sociale, attraverso cui pianificatori, architetti, urbanisti, ricercatori e attivisti si impegnano a progettare lo sviluppo delle città perseguendo gli obiettivi dei sistemi alimentari (*Maye*, 2019).

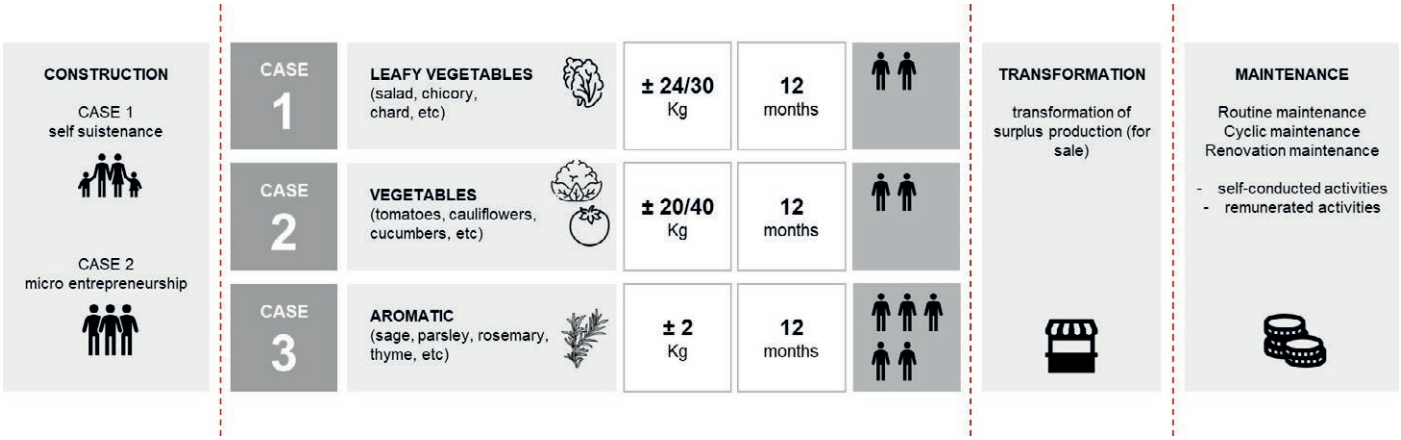
Risultati

I prototipi studiati contribuiscono alla diffusione di forme di agricoltura urbana nelle città, coinvolgono la popolazione cre-

| 04



05 |



ando nuove forme di coesione sociale e instaurano relazioni economiche di prossimità che supportano la fascia debole della popolazione. La diffusione di forme di agricolture urbana, tramite i prototipi proposti contribuisce all'*urban rewilding* e al rafforzamento della sicurezza alimentare (Russo *et al.,* 2025). L'intero sistema è invece una possibile strategia per la neutralità carbonica, sul tema sono presenti progetti Life e studi che ne evidenziano le connessioni e le implicazioni positive (Fig. 5), sia rispetto alle tecniche più efficaci che rispetto agli strumenti studiati per sostenere queste pratiche. La produzione di cibo in ambito urbano, oltre a contribuire all'inclusione sociale favorisce le relazioni economiche di prossimità. Questi risultati sono misurabili (Fig. 6) attraverso la produttività dei moduli e al numero di attività remunerabili necessarie al loro funzionamento. La costruzione dei moduli attinge a risorse locali rese disponibili secondo logiche di economia circolare, la forza lavoro viene messa a disposizione dai soggetti che beneficiano degli esiti dell'iniziativa, diversamente può essere monetizzata, creando una nuova filiera produttiva di iniziativa imprenditoriale. La produttività è stimata tra i 20 e i 40 kg di ortaggi e verdure all'anno, variabile rispetto alla tipologia di piante individuate (precoci o crescita lenta, verdure a foglia verde oppure ortaggi, semina o messa a dimora di piante derivanti da *nursery*). Il cibo prodotto può essere utilizzato dagli attuatori, o rimesso in circolo tramite vendita o trasformazione, nel quartiere sono presenti molte associazioni che si occupano della ridistribuzione delle eccedenze alimentari. La manutenzione, così come la costruzione, rappresentano invece le fasi del progetto in cui le ore uomo necessarie possono essere remunerate dai profitti del progetto.

Relativamente alla questione ambientale, un dato di fatto relativo all'utilizzo di facciate verdi è quello legato ai benefici che queste hanno sul benessere microclimatico degli edifici, studi sul tema (Sharbafian *et al*., 2024) hanno dimostrato che già solo un ombreggiamento con un coefficiente di schermatura pari al 20% può contribuire a migliorare la temperatura interna degli edifici, con un guadagno compreso tra ±0,5 e 4°C (Bakhshoodeh *et. al, 2023*) e una riduzione delle risorse (*de* Oliveira Santos *et al.,* 2024). L'80% in volume dei gas (Eurostat, 2024) ad effetto serra è rappresentato dalla CO_2eq; pertanto, i due terzi del riscaldamento globale sono attribuibili all'aumento delle

the circular economy on an urban scale (zero impact and lengthening of useful life), and confirms the circularity of the design carried out. The characteristics mentioned are at the focus of a study (Hawes *et al*., 2024) that highlights the advantages of urban agriculture compared to traditional agriculture, above all highlighting which crops are most suitable in an urban setting for gains in carbon sequestration. The study also highlights that the great advantages of urban agriculture are the reduction of transport impacts, the reduction in material consumption, the reduction in pesticide use, etc.

Three prototypes have been studied (Fig. 3). Precisely, the first involves indirect attachment to the façade. It is built using recovered or regenerated wooden pallets, with a soil container created by forming bags with PVC advertising banners. The soil will be amended with self-produced quality compost. The second involves an indirect attachment and uses the residual spaces of the pallet to insert PVC bags, in this case, the space between one plant and another increases, offering the possibility of growing even taller plants. The third prototype involves an indirect attachment and the use of pruning branches for the support structure. The containers are made of recycled wood, and their positions are dictated by production needs (horticultural or aromatic production) and, therefore, by the need for plant growth.

In phase 3, the relationship between the project and the territory is examined, both in terms of production to support the vulnerable population, and in terms of starting local micro-supply chains. Bioloop is one of the winning projects of the Polisocial Award 2023, the initiative of the Polytechnic that aims to connect the university with the city's neighbourhoods, also through the off-campus presence (research and experimentation centres outside the university campus). The operational headquarters of Bioloop is the off-campus Cascina Nosedo, located on the southern outskirts of Milan, within the Corvetto-Chiaravalle neighbourhood, the experimentation area (Fig. 4). This neighbourhood is not chosen at random, but for the presence of complex social situations, featuring cultural heterogeneity, economic hardship, high rate of school dropout, etc., conditions we plan on solving with the start of the proposed experiments (Sacchi *et al.,* 2018). Phase 3 also considers the interaction between territories, their administrators, and food production, in a rationale of "food system planning" (Cabannes *et al.,* 2018), a form of social innovation through which planners, architects, urban planners, researchers, and activists committed to designing the development of cities by pursuing the objectives of food systems (Maye, 2019).

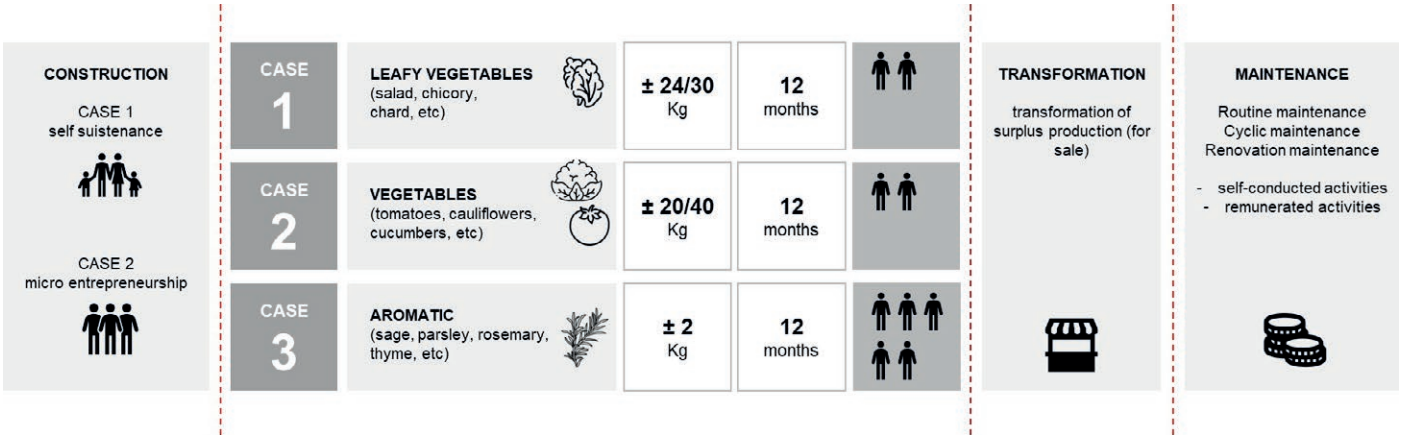
Results

The prototypes studied contribute to the diffusion of forms of urban agriculture in cities, involve the population by creating new forms of social cohesion, and establish economic relationships of proximity that support the vulnerable population. The diffusion of forms of urban agriculture, through the proposed prototypes, contributes to urban rewilding and to strengthening food security (Russo *et al*., 2025). The entire system is, instead, a possible strategy for carbon neutrality. On the topic there are Life projects and studies that

06 | Resa dei sistemi di coltivazione rispetto alla tipologia di piantumazione e attività parallele (autocondotte o remunerabili)
Yield of cultivation systems concerning the type of planting and parallel activities (self-managed or remunerative)

07 | Stima dell'assorbimento di CO_2eq ottenibile con il modulo di coltivazione urbana proposto
Estimation of CO_2eq absorption that can be obtained with the proposed urban cultivation module

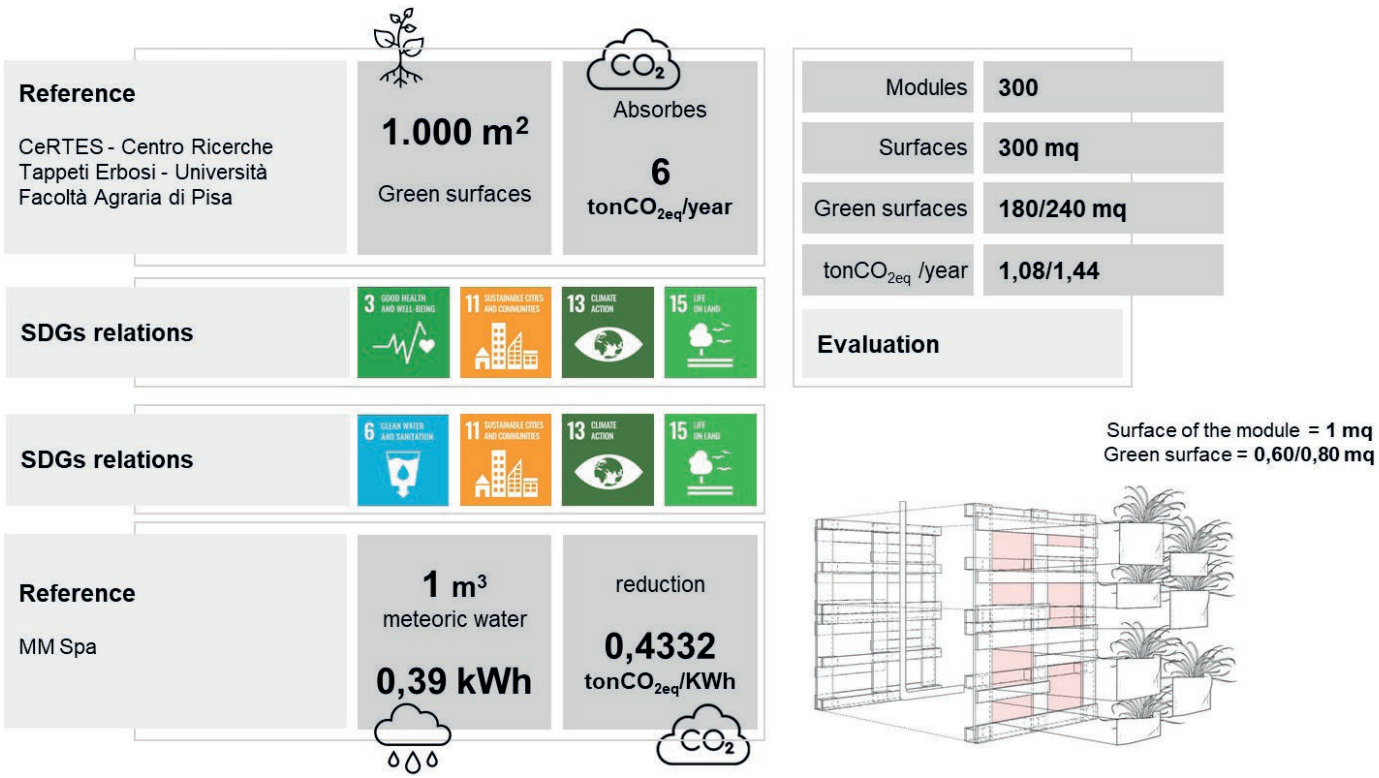
| 06



emissioni di CO_{2eq}. Rispetto alla produzione di CO_{2eq} (EDGAR, 2024) nel 2022 l'Europa è stata responsabile del 7,28% delle emissioni totali, l'Italia dello 0,84%, in termini quantitativi nel 2022 è stato stimato siano state emesse 322,95 Mton 5,48 ton CO_2/cap, in aumento rispetto alle 320,76 Mton del 2021. Uno dei principali fattori di produzione di CO_{2eq} è legato proprio al consumo di risorse per la climatizzazione estiva e invernale, è chiaro che intervenendo sulle superfici opache degli edifici, riducendo la dispersione termica con sistemi verdi, il guadagno termico si traduce in minori consumi e in una riduzione delle emissioni di CO_{2eq}.

I sistemi proposti possono concorrere al raggiungimento della neutralità carbonica entro il 2050 proposta con il green deal ed entro il 2030 con il pacchetto "fit for 55%" (*EU*, 2019; European Parliament, 2021) e rispetto alla produzione agricola concorrere alla roadmap verso il 2030 (Italy for climate, 2020) con filiere corte, miglioramento dei sistemi logistici (coltivando in città lo spostamento è ridotto) e la diffusione di pratiche agronomiche mirate al carbon *farming*.
Il Comune di Milano, per il raggiungimento della neutralità carbonica, ha previsto nel PGT interventi di rinaturalizzazione attraverso forme di verde integrato (Comune di Milano, 2020a).

| 07



A tale scopo ha standardizzato i parametri di quantificazione e ad esempio, per ogni 1000 mq di superficie verde si stima un assorbimento di 6 ton di CO_{2eq} all'anno (Fig. 7). Per contestualizzare il progetto, viene usata come caso studio la facciata cieca al piano terra di un edificio destinato a studentato situato nel quartiere Corvetto-Chiaravalle, quantificando in 1,08/1,44 ton di CO_{2eq} il guadagno derivabile. Si tenga conto che il guadagno in termini di carbonio è più alto perché i sistemi di coltivazione proposti vengono supportati con l'utilizzo di acqua meteorica, stoccata e recuperata. Il PGT fornisce gli strumenti per quantificare anche questo contributo, ma in questo paper non viene considerato. Si precisa che la scelta di questo metodo di valutazione è motivato dalla presenza di regole comunali condivise, ma su questo tema esistono studi *(Artman et al*., 2020) che offrono indicazioni sulle modalità di calcolo e sui vantaggi derivabili.

Conclusioni

Il progetto mira ad ottenere dei vantaggi ambientali e sociali alla scala iper-locale e si rivolge: agli amministratori locali come input alla predisposizione di strumenti per la pianificazione urbana; agli attori locali (associazioni, residenti) come forma di rinnovamento urbano condiviso e sostenibile, oltre che alle attività insediate sul territorio (fornitori delle materie prima seconde). Relativamente alla pianificazione, sostenere progetti di questo tipo da parte dei pianificatori rientra nella logica di green budgeting sostenuta a scala globale *(OECD,* 2022) ed europea (EC, 2021; EC, 2023b), ovvero riuscire ad ottenere benefici ambientali, sostenibili e climatici, attraverso la costruzione dei bilanci nazionali. La promozione dell'agricoltura urbana è una sfida cruciale ed è stato dimostrato che la sua attuazione contribuisce all'aumento della sicurezza alimentare (Opitz *et al*., 2016) e contribuirà all'attrazione di nuovi investitori (Sarker *et al*., 2019). Per favorire questo nuovo fronte d'investimento sarà necessario un maggior sostegno da parte delle politiche territoriali locali e governative, che a partire da standard fissati per pratiche sostenibili possano erogare contributi per rendere l'agricoltura urbana una pratica sempre più diffusa, economicamente sostenibile e socialmente inclusiva.

Rispetto alla sua configurazione, il progetto si inserisce in due ambiti di sostenibilità, neutralità carbonica e produzione di cibo, il primo è quasi una conseguenza del secondo, e il secondo lavorando alla scala iper-locale si allinea con la *Food Policy* (Comune di Milano, 2015; 2020b) del Comune di Milano, sostenendo le categorie sociali più deboli anche a ricucitura del divario che si osserva nei quartieri più fragili della città. Il progetto è sicuramente ambizioso e necessita di tempo per poter essere integrato alla vasta scala, ma la sua attuazione anche a dimensione ridotta potrà diventare un dimostratore efficace.

REFERENCES

Bakhshoodeh, R., Ocampo, C. and Oldham, C. (2023), "Impact of ambient air temperature, orientation, and plant status on the thermal performance of green façades", *Energy and Buildings*, Vol. 296, 113389. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113389 (Accessed on 17/07/2024).

Cabannes, Y. and Marocchino, C. (eds). (2018), *Integrating Food into Urban Planning*. London, UCL Press; Rome, FAO. Available at: https://doi.org/10.14324/111.9781787353763 (Accessed on 24/07/2024).

Comune di Milano (2015), *Linee di indirizzo della Food Policy di Milano 2015-2020*. Available at: https://www.comune.milano.it/docu-

highlight the connections and positive implications (Fig. 5), both concerning the most effective techniques and the tools studied to support these practices. The prototypes studied were designed to promote food production in urban areas and to contribute to social inclusion and local economic relations. These results are measurable (Fig. 6) through the productivity of the modules and the number of remunerative activities necessary for their operation. The construction of the modules draws on local resources made available according to a circular economy rationale. The workforce is provided by subjects who benefit from the outcomes of the initiative; it can, otherwise, be monetised, creating a new entrepreneurial production chain. Productivity is estimated between 20 kg and 40 kg of vegetables and greens per year, and can vary according to the type of plants identified (early or slow growth, green leafy vegetables, sowing or planting of plants from nurseries). The food produced can be used by the implementers, or put back into circulation through sale or transformation. Many associations in the neighbourhood deal with the redistribution of excess food. Maintenance, like construction, is the phase of the project in which the necessary man-hours can be remunerated from project profits.

Regarding the environmental issue, a fact related to the use of green façades is linked to the benefits that these have on the microclimatic well-being of buildings. Indeed, studies on the subject (Sharbafian *et al*., 2024) have shown that just shading with a screening coefficient of 20% can contribute to improving the internal temperature of buildings, with a gain between ±0.5°C and 4°C (Bakhshoodeh et. al, 2023), and a reduction in resources (de Oliveira Santos *et al*., 2024). 80% of greenhouse gases (Eurostat, 2024) by volume are represented by CO_{2eq}; therefore, two-thirds of global warming is attributable to the increase in CO_{2eq} emissions. Concerning the production of CO_{2eq} (EDGAR, 2024) in 2022, Europe was responsible for 7.28% of total emissions, and Italy for 0.84%. In quantitative terms, in 2022 it was estimated that 322.95 Mton 5.48 tons CO_2/cap were emitted, an increase compared to the 320.76 Mton of 2021. One of the main factors of the production of CO_{2eq} is linked to the consumption of resources for summer and winter air conditioning. By intervening on the opaque surfaces of buildings, and reducing heat loss with green systems, the thermal gain translates into lower consumption and a reduction in CO_{2eq} emissions.

The proposed systems can contribute to achieving carbon neutrality by 2050 as proposed by the Green Deal, and by 2030 with the "fit for 55%" package (EU, 2019; European Parliament, 2021). For agricultural production, it can contribute to the roadmap towards 2030 (Italy for climate, 2020) with short supply chains, improved logistics systems (growing in cities reduces travel), and the spread of agronomic practices aimed at carbon farming.

To achieve carbon neutrality, the Municipality of Milan has included renaturalisation interventions through integrated green forms in the PGT (Comune di Milano, 2020a). For this purpose, it has standardised the quantification parameters; for example, absorption of 6 tons of CO_{2eq} per year is estimated for every 1000 sqm of green surface (Fig. 7). To contextualise the project, the blind façade on the ground

floor of a building intended for student housing located in the Corvetto-Chiaravalle district is used as a case study, quantifying the derivable gain at 1.08/1.44 tons of CO_{2eq}. It should be noted that the gain in terms of carbon is higher because the proposed cultivation systems are supported using stored and recovered rainwater. The PGT provides the tools to quantify this contribution as well, but it is not considered in this paper. It should be noted that the choice of this evaluation method is motivated by the presence of shared municipal rules. However, on this topic there are studies (Artman *et al*., 2020) that offer indications on the calculation methods and the resulting advantages.

Conclusions

The project aims to achieve environmental and social benefits at the hyperlocal scale, and addresses local administrators as input to the preparation of tools for urban planning; local actors (associations, residents) as a form of shared and sustainable urban renewal, as well as businesses located in the territory (suppliers of secondary raw materials). Concerning planning, encouraging planners to support such projects is part of the green budgeting rationale promoted at the global (OECD, 2022) and European (EC, 2021; EC, 2023b) scale, that is, being able to obtain environmental, sustainable and climate benefits through the construction of national budgets. The promotion of urban agriculture is a crucial challenge. There is evidence that its implementation contributes to increasing food security (Opitz *et al*., 2016), and will contribute to attracting new investors (Sarker *et al*., 2019). To foster this new investment front, greater support will be needed from both local and government territorial policies, which, starting from standards set for sustainable practices, can provide contributions to make urban agriculture an increasingly widespread, economically sustainable, and socially inclusive practice.

In terms of its configuration, the project fits into two areas of sustainability, carbon neutrality and food production. The former is almost a consequence of the latter, which, working at the hyperlocal scale, aligns with the Food Policy (Municipality of Milan, 2015; 2020b) of the Municipality of Milan, supporting the weakest social categories, also to mend the gap observed in the most fragile neighbourhoods of the city. The project is certainly ambitious and needs time to be integrated on a large scale, but its implementation even at a small scale could become an effective demonstrator.

ments/20126/481928510/Linee+di+indirizzo_Food+Policy.pdf/faeb62c1-d7ea-2636-ee18-ec114843522b?t=1711707242649 (Accessed on 26/07/2024).

Comune di Milano (2020a), *Documento tecnico per l'attuazione della disciplina di cui all'Art. 10 "Sostenibilità ambientale e resilienza urbana"*. Available at: https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/rigenerazione-urbana-e-urbanistica/pgt-approvato-e-vigente-milano-2030/sostenibilita-ambientale-e-resilienza-urbana (Accessed on 08/07/2024).

Comune di Milano (2020b), *Rural-urban linkages peri-urban agriculture and public procurement*. Available at: https://www.comune.milano.it/documents/20126/481946383/policy-brief-rural-urban-linkages.pdf/4f224b74-e41a-c313-c7a8-7b119af175ca?t=1712053364110 (Accessed on 26/07/2024).

Cost Actions (2022), *CA17133 – Implementing nature based solutions for creating a resourceful circular city*. Available at: https://circular-city.eu/wp-content/uploads/2021/10/CA17133_Deliverable-3_Catalogue_complete.pdf (Accessed on 18/07/2024).

C3S – Copernicus Climate Change Service (2024), *European State of the Climate 2023. Report 2023*, (Accessed on 08/07/2024). https://doi.org/10.24381/bs9v-8c66 (Accessed on 17/07/2024).

de Oliveira Santos, T.D., Leal Pacheco, F.A. and Sanches Fernandes, L.F., (2024), "A systematic analysis on the efficiency and sustainability of green facades and roofs", *Science of The Total Environment*, Vol. 932, 173107. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173107 (Accessed on 17/07/2024).

de Oliveira Alves, D., de Oliveira, L., Durante Mühl, D. (2023), "Commercial urban agriculture for sustainable cities", *Cities*, Vol. 150, 05017. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105017 (Accessed on 17/07/2024).

EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research (2024), *CO_2 total emission*. Available at: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023?vis=co2tot#emissions_table (Accessed on 08/07/2024).

EC – European Commission (2019), *The European Green Deal – COM/2019/640 final*. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640 (Accessed on 24/07/2024).

EC – European Commission (2020a), *Developments and Forecasts on Continuing Urbanisation. We foster a strategic, future-oriented and anticipatory culture in the EU policymaking process.* Available at: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/continuing-urbanisation/developments-and-forecasts-on-continuing-urbanisation_en (Accessed on 08/08/2024).

EC – European Commission (2020b), *100 climate-neutral cities by 2030 – by and for the citizens – Report of the mission board for climate-neutral and smart cities*. Available at: https://www.data.europa.eu/doi/10.2777/46063 (Accessed on 08/07/2024).

EC – European Commission (2021), *Green budgeting – Towards common principles, European Union*. Available at: https://data.europa.eu/doi/10.2765/51675 (Accessed on 26/07/2024).

EC – European Commission (2023a), *Nature-based solutions – EU-funded nbs research projects tackle the climate and biodiversity crisis*. Available at: https://data.europa.eu/doi/10.2848/879543 (Accessed on 18/07/2024).

EC – European Commission (2023b), *Green budgeting in the EU. Key insights from the 2023 European Commission survey of green budgeting practices*. Available at: https://economy-finance.ec.europa.eu/document/download/40851e31-78eb-43fe-8e6d-a08fa4105638_en?filename=2023%20Green%20Budgeting%20survey%20key%20findings.pdf (Accessed on 18/07/2024).

European Parliament (2021), *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')*. Available at: http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj (Accessed on 25/07/2024).

Eurostat (2024), *Air emissions accounts by NACE Rev. 2 activity*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_AINAH_R2__custom_5217930/default/table (Accessed on 17/07/2024).

Hawes, J.K., Goldstein, B.P., Newell, J.P., Dorr, E., Caputo, S., Fox-Kämper, R., Grard, B., Ilieva, R.T., Fargue-Lelièvre, A., Poniży, L., Schoen, V., Specht, K., and Cohen, N. (2024), "Comparing the carbon footprints of urban and

conventional agriculture", *Nature Cities*, Vol. 1, pp. 164-173. Available at: https://doi.org/10.1038/s44284-023-00023-3 (Accessed 26/11/2024).

HEI – Health Effects Institute (2024), *State of global air 2024: a special report on global exposure to air pollution and its health impacts, with a focus on children's health*, Boston, MA:Health Effects Institute. Available at: https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024 (Accessed on 08/07/2024).

Hoffmann, K.A., Schröder, S., Nehls, T., Pitha, U., Pucher, B., Zluwa, I., Gantar, D., Šuklje Erjavec, I. and Kozamernik, J. (eds.) (2023), *Vertical Green 2.0. The Good, the Bad and the Science*. Available at: https://doi.org/10.14279/depositonce-16619 (Accessed on 18/07/2024).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *AR6 Synthesis Report. Climate Change 2023*. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/ (Accessed on 08/07/2024).

Irga, P.J., Torpy, F.R., Griffin, D., and Wilkinson, S.J. (2023), "Vertical Greening Systems: A Perspective on Existing Technologies and New Design Recommendation", *Sustainability*, Vol. 15, no. 7, 6014. Available at: https://doi.org/10.3390/su15076014 (Accessed on 18/07/2024).

Italy for climate (2020), *Italy Climate Report 2020*. Available at: https://italyforclimate.org/wp-content/uploads/Italy-Climate-Report-2020-web.pdf (Accessed on 25/07/2024).

IUCN – International Union for Conservation of Nature (2018), *Nature Based Solutions. Toward the implementation in mediterranean cities. Brainstorming summary*. Available at: https://www.iucn.org/sites/default/files/content/documents/2018/brainstorm_summary_experts_meeting_med_cities_feb18.pdf (Accessed on 18/07/2024).

Lovell, S.T. (2010), "Multifunctional Urban Agriculture for Sustainable Land Use Planning in the United States", *Sustainability*, Vol. *2, pp.* 2499-2522. Available at: https://doi.org/10.3390/su2082499 (Accessed on 24/07/2024).

Maye, D. (2021), "'Smart food city': Conceptual relations between smart city planning, urban food systems and innovation theory City", *Culture and Society*, Vol. 16, pp. 18-24 Available at: https://doi.org/10.1016/j.ccs.2017.12.001 (Accessed on 24/07/2024).

MM Spa (2017), *Bilancio di Sostenibilità 2017*. Available at; https://mmspa.eu/wp-content/uploads/2024/04/MMBilanciosostenibilita2017-senza-firme. (Accessed on 26/07/2024).

OECD (2022), *Aligning Regional and Local Budgets with Green Objectives: Subnational Green Budgeting Practices and Guidelines*, OECD Multi-level Governance Studies, OECD Publishing, Paris, Available at: https://doi.org/10.1787/93b4036f-en (Accessed on 08/07/2024).

Opitz, I., Berges, R., Piorr, A. and Krikser, T. (2016). "Contributing to food security in urban areas: differences between urban agriculture and peri-urban agriculture in the Global North", *Agriculture and Human Values*, Vol. 33, n.2, pp. 341-358. Available at: https://doi.org/10.1007/s10460-015-9610-2 (Accessed on 08/07/2024).

Russo, A., Sardeshpande, M., Rupprecht, C.D.D. (2025), "Urban rewilding for sustainability and food security", *Land Use Policy*, Vol. 149, 107410. Available at https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107410 (Accessed on 26/11/2024).

Sacchi, F. and Corsi, E. (2018), *Progetto Fondazione Milano. Atlante socio-economico: Adda Martesana, Sud Est, Sud Ovest, Milano. Fondazione di Comunità Milano*. Available at: https://www.fondazionecomunitamilano.org/wp-content/uploads/2019/02/04_cariplo-def-gennaio_19.pdf (Accessed on 26/11/2024).

Sarker, A.H., Bornman, J.F. and Marinova, D. (2019), "A framework for integrating agriculture in urban sustainability in Australia", *Urban Science*, Vol. 3, no. 2, 50. Available at: https://doi.org/10.3390/urbansci3020050 (Accessed on 26/07/2024).

Sharbafian, M., Yeganeh, M. and Baradaran Motie, M. (2024), "Evaluation of shading of green facades on visual comfort and thermal load of the buildings", *Energy and Buildings*, Vol. 317, 114303. Available at https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114303 (Accessed on 17/07/2024).

UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018), *The World's Cities in 2018. Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/417)*. Available at: www.unpopulation.org (Accessed on 02/07/2024).

UN Habitat (2022), *World cities report 2022. Envisaging the Future of Cities*. Available at: https://unhabitat.org/wcr/ (Accessed on 08/07/2024).

Biotecnologie e *greening* urbano: l'approccio Zero Mile

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Attilio Nebuloni[1], https://orcid.org/0000-0002-9552-7002 attilio.nebuloni@polimi.it
Fiammetta Costa[1], https://orcid.org/0000-0002-5568-0061 fiammetta.costa@polimi.it
Giorgio Buratti[1], https://orcid.org/0000-0002-6882-0844 giorgio.buratti@polimi.it
Matteo Meraviglia[1] matteo.meraviglia@polimi.it
Luciana Migliore[2], https://orcid.org/0000-0003-3554-3841 luciana.migliore@uniroma2.it
Annamaria Alabiso[2] annamaria.alabiso@gmail.com
Valerio Cantelmo[2] valeriocantelmo@gmail.com
[1] Dipartimento di Design, Politecnico di Milano, Italia
[2] Dipartimento di Biologia, Università di Roma Tor Vergata, Italia

Abstract. Tra le strategie capaci di affrontare le molteplici sfide connesse al raggiungimento del target NetZero, il greening urbano rappresenta non solo una strategia per aumentare l'efficienza energetica degli edifici, ma l'occasione per disegnare nuovi scenari di un abitare biofilico, capace di ristabilire connessioni positive tra persone e natura nell'ambiente costruito. In tale contesto, un'area di studio di crescente interesse si concentra sul recupero sostenibile delle acque grigie domestiche per il riutilizzo nelle costruzioni a fini irrigui. Il paper presenta i risultati di un progetto di ricerca interdisciplinare, che mediante processi di biofiltrazione permette il recupero delle acque di scarico degli elettrodomestici per alimentare soluzioni di green architecture.

Parole chiave: *Environmental design*; *Wastewater management*; *Greening urbano*; *Biophilic design*; Biotecnologie.

Framework

Lo sviluppo di un'architettura sostenibile e resiliente che integri nella costruzione, in particolare nel suo involucro, la dimensione organica quale strategia possibile per il raggiungimento di un target NetZero, vede nell'acqua un elemento di potenziale criticità. Ai benefici derivanti dall'adozione di approcci di *greening*, infatti, si contrappone spesso un consumo di acqua potabile poco sostenibile, particolarmente critico in aree e periodi con scarse precipitazioni. In alternativa, è auspicabile utilizzare acqua di falda, se disponibile, oppure riciclare acque di scarico agendo con soluzioni tecnologico-impiantistiche centralizzate, non sempre attuabili per localizzazione, densità del costruito, tipologia di intervento o per gli elevati costi di realizzazione e gestione[1]. Più in generale, già oggi il consumo di acqua dolce per fini irrigui è stimato, a livello globale, al 70% del prelievo totale, riconoscendo così il trattamento, il recupero e il riutilizzo delle acque reflue sempre più come un'efficace soluzione per affrontare la scarsità d'acqua (Kunz *et al*., 2016; Barbagallo *et al*., 2001) e nel contempo ridurre i costi d'intervento, le esternalità ambientali e l'impatto antropico sugli ecosistemi naturali (Feeny *et al*., 1990). I vantaggi di tale soluzione sono sia in ambito strettamente agricolo sia, in prospettiva, in ambienti urbani caratterizzati da una sempre più stretta integrazione tra verde e architettura (Walk and Dierich, 2014); da un lato, ciò si configura come strategia per migliorare l'efficienza energetica delle costruzioni, dall'altro, per favorire forme di sinergia tra persone e natura[2].

Sebbene il riutilizzo delle acque reflue nell'agricoltura tradizionale sia stato ampiamente investigato, dimostrandone il vantaggio per chi opera in contesti di scarsità d'acqua (Bichai *et al*., 2018), l'adozione di analoghe pratiche a livello urbano e architettonico, in forma individuale o collettiva, è un argomento di ricerca relativamente inesplorato. Zero Mile si propone di colmare tale *gap*. A partire dal riutilizzo delle acque grigie provenienti dalle lavastoviglie per la coltivazione di un orto domestico o, più in generale, per fini irrigui, Zero Mile permette

Biotechnologies and urban greening: the Zero Mile approach

Abstract. Among the strategies capable of addressing the multiple challenges related to achieving the NetZero target, urban greening is not only a strategy to increase the energy efficiency of buildings but also an opportunity to design new scenarios of biophilic living, capable of re-establishing positive connections between people and nature in the built environment. In this context, an area of study of growing interest focuses on the sustainable recovery of domestic greywater for reuse in buildings for irrigation purposes. The paper outlines the results of an interdisciplinary research project, which, through bio-filtration processes, enables the recovery of wastewater from household appliances to supply green architecture solutions.

Keywords: Environmental design; Wastewater management; Urban greening; Biophilic design; Biotechnologies.

Framework

Water is a potentially critical element in developing a sustainable and resilient architecture that integrates the organic dimension into construction, particularly the envelope, as a possible strategy for achieving a NetZero target. Indeed, the benefits of adopting greening approaches are often offset by unsustainable potable water consumption, which is particularly critical in areas and periods of low rainfall. As alternatives, it is desirable to use groundwater, if available, or to recycle wastewater with centralised technological plant solutions, which are only sometimes feasible due to location, built density, type of intervention, or high implementation and operating costs[1].

Generally, today freshwater consumption for irrigation purposes is globally estimated at 70 percent of total withdrawal. This acknowledges wastewater treatment, recovery, and reuse increasingly as an effective solution to address water scarcity (Kunz *et al*., 2016; Barbagallo *et al*., 2001), while reducing intervention costs, environmental externalities and anthropogenic impact on natural ecosystems (Feeny *et al*., 1990). The benefits of such a solution are both in strictly agricultural settings and, prospectively, in urban environments characterised by increasingly close integration of green and architecture (Walk and Dierich, 2014). This is seen as a strategy to improve the energy efficiency of buildings, and also as a device to foster forms of synergy between people and nature[2].

While wastewater reuse in traditional agriculture has been extensively investigated, demonstrating its benefit for those operating in water-scarce settings (Bichai *et al*., 2018), the

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16529

la creazione di un sistema potenzialmente chiuso ed autosufficiente (Costa and Nebuloni, 2021). A tal fine, viene introdotto un nuovo biofiltro sviluppato *ad hoc* in grado di produrre acqua pulita che viene poi riutilizzata nella costruzione per irrigare un orto o un giardino verticale, o per eseguire ulteriori cicli della lavastoviglie. Il nuovo biofiltro rappresenta il nodo di un sistema integrato capace di rispondere a due principi dell'economia circolare: i) la riduzione del consumo di acqua e del refluo da smaltire, ii) il riciclo dei nutrienti presenti nei reflui mediante la loro mineralizzazione e l'uso come fertilizzanti nella produzione domestica di verdure e piante. Nel contesto di un'economia circolare, le acque reflue rappresentano pertanto una risorsa preziosa, il cui riutilizzo diventa più fattibile in ragione del grado di prossimità a quello di produzione (WWAP, 2017). Nell'approccio "dal rifiuto al valore", è cruciale così andare oltre la semplice riduzione dell'inquinamento e ottenere valore dalle acque reflue stesse, attraverso il recupero di nutrienti ed energia.

Il progetto è stato avviato grazie alla ricerca FARB "Design for sustainability and ICT"[3] e al finanziamento "Torno subito" della Regione Lazio[4]. Ha coinvolto nel corso del suo sviluppo diversi gruppi universitari del Politecnico di Milano e dell'Università di Roma Tor Vergata e alcune aziende.

Biotecnologie per il trattamento delle acque reflue

Il processo di trattamento delle acque reflue è oggi principalmente di tipo biologico ed utilizza, nella maggior parte dei casi, dei batteri. Tali tecniche, tuttavia, sono spesso costose e richiedono elevati livelli di energia (Gonçalves *et al*., 2017). Un approccio più sostenibile è quello che utilizza consorzi microbici basati sulla relazione tra organismi fotosintetici e batteri eterotrofi (Posadas *et al*., 2013; 2017); i primi, attraverso la fotosintesi, forniscono ossigeno ai batteri eterotrofi, mentre gli eterotrofi, attraverso la degradazione organica, rilasciano CO_2 e nutrienti minerali, utilizzati dagli autotrofi. In ragione della capacità del consorzio di microrganismi di rimuovere i contaminanti e di biofiltrare, il risultato di questo scambio è un aumento di biomassa del consorzio che può essere utilizzata come fertilizzante. Il sistema Zero Mile si basa su un processo di doppia filtrazione: la prima meccanica e la seconda biologica, consistente in un consorzio di microrganismi assemblato *ad hoc* per il trattamento del contenuto organico delle acque reflue (Fig. 1). Il trattamento è effettuato da un sistema biologico autosufficiente, ovvero un consorzio costituito da un cianobatterio e da batteri eterotrofi colonizzatori del refluo della lavastoviglie, che si struttura in un aggregato sospeso tridimensionale. In sintesi, il biofiltro integrato nel sistema permette di "attaccare e mineralizzare" la frazione organica presente nelle acque di scarico di una lavastoviglie domestica, che vengono successivamente utilizzate per l'irrigazione di vegetali o, eventualmente, reimmesse in circolo per ulteriori cicli di lavaggio. Più in dettaglio, il principio alla base di questo biofiltro è quello di assemblare colonizzatori del refluo della lavastoviglie con microrganismi atti a produrre biofilm in modo che l'insieme (il consorzio) sia in grado di prosperare nelle acque reflue della lavastoviglie. L'insieme rappresenta così una sorta di "rifugio" in cui il degradatore eterotrofo del carico organico e il cianobatterio costruiscono una "casa" che permette a entrambi di sopravvivere e crescere nel refluo. L'organismo "rifugio" è stato selezionato tra la colle-

adoption of similar practices at the urban and architectural level, either individually or collectively, is a relatively unexplored research topic. Zero Mile aims to bridge this gap. Starting by reusing greywater from dishwashers to grow a home garden or, more generally, for irrigation purposes, Zero Mile allows the creation of a potentially closed and self-sufficient system (Costa and Nebuloni, 2021). To this end, a new ad hoc developed biofilter is introduced to produce clean water, which is then reused in the building to irrigate a vegetable garden or a vertical garden, or to run additional dishwasher cycles. This new biofilter is the node of an integrated system capable of responding to two principles of circular economy, namely i) the reduction of water consumption and wastewater to be disposed of, and ii) the recycling of nutrients in wastewater through their mineralisation and use as fertilisers in home production of vegetables and plants. Wastewater is, therefore, a valuable resource within the context of circular economy, and its reuse becomes more feasible depending on the degree to which it is close to the production process (WWAP, 2017). In the "waste to value" approach, it is thus crucial to go beyond simply reducing pollution in order to obtain value from wastewater through nutrient and energy recovery.

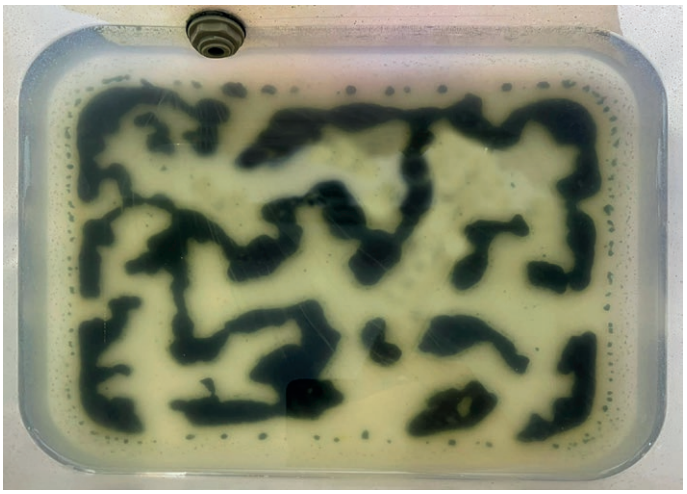
This project was launched thanks to FARB research "Design for sustainability and ICT"[3] and "Torno subito" grants issued by Regione Lazio[4]. During its development, it has involved several university teams including the Polytechnic of Milan, the University of Rome Tor Vergata, and some companies.

Biotechnologies in wastewater treatment

Currently, the wastewater treatment process is mainly biological and uses bacteria in most cases. However, such techniques are often expensive and require high levels of energy (Gonçalves *et al*., 2017). A more sustainable approach is one that uses microbial consortia based on the relationship between photosynthetic organisms and heterotrophic bacteria (Posadas *et al*., 2013; 2017); the former, through photosynthesis, provide oxygen to heterotrophic bacteria, while the heterotrophs, through organic degradation, release CO_2 and mineral nutrients, which are used by the autotrophs. Due to the ability of the consortium of microorganisms to remove contaminants and bio-filtrate, this exchange results in an increase in consortium biomass that can be used as fertiliser.

Zero Mile system is based on a dual filtration process, the first mechanical and the second biological, consisting of a consortium of microorganisms assembled ad hoc to treat the organic content of wastewater (Fig. 1). Treatment is carried out by a self-sustaining biological system, i.e., a consortium consisting of a cyanobacterium and heterotrophic bacteria colonising the dishwasher effluent, which is structured into a three-dimensional suspended aggregate. In brief, the system's integrated biofilter allows the organic fraction in domestic dishwasher wastewater to be "attacked and mineralised". It is then used for plant irrigation or, eventually, re-circulated for further washing cycles. Specifically, the principle behind this biofilter is to assemble colonisers of dishwasher effluent with microorganisms capable of producing biofilms so that the whole

01 | Biomassa prodotta dal processo di biofiltraggio del sistema Zero Mile
Biomass produced by the Zero Mile system's biofiltration process



| 01

zione di cianobatteri del Laboratorio delle alghe dell'Università di Roma Tor Vergata: il cianobatterio scelto è *Thricormus variabilis* (VRUC168), un microrganismo fotosintetico e azotofissatore, proveniente da biofilm naturali che crescono nella laguna di Cabras, in Sardegna. Da solo, *Thricormus* non è in grado di sopravvivere nel refluo. Invece, nel suo insieme, il gruppo selezionato di microrganismi conferisce al biofiltro funzioni e proprietà uniche che lo rendono sicuro nella produzione di acqua fertilizzata, priva di sostanze chimiche pericolose[5].
Il sistema Zero Mile è il primo del suo genere e rappresenta un'innovazione nel recupero delle acque reflue della cucina. La ricerca condotta sino ad oggi ha riguardato lo studio e la sperimentazione su materiali, componenti e processi, comprese le misurazioni di laboratorio e diverse ipotesi di integrazione della biotecnologia in prototipi sperimentali. Allo stato dell'arte della ricerca, sul sistema sono stati depositati un brevetto nazionale ed uno internazionale[6].

Metodologia, articolazione e risultati della ricerca

Le principali fasi della ricerca sono state: i) progettazione tecnica e funzionale del sistema Zero Mile; ii) sviluppo del biofiltro, con la messa a punto del consorzio microbico, la sua applicazione in laboratorio, il monitoraggio e l'analisi dei risultati; iii) costruzione di un primo prototipo operativo in ambiente indoor; iv) user-centred design research; v) analisi stato dell'arte di soluzioni tecnologiche di verde verticale e roof gardening; vi) definizione dei criteri di progettazione per il trasferimento del sistema in ambiente esterno; vii) costruzione di un secondo prototipo modulare e interattivo.

i) Progettazione tecnica e funzionale del sistema Zero Mile
Il sistema Zero Mile è composto da tre sottosistemi: il sottosistema idraulico, quello di bio-filtazione e infine il sottosistema di coltivazione. Nel suo complesso, Zero Mile è stato progettato in modo che i sottosistemi possano essere integrati in un insieme unitario, essere aggregati in configurazione variabile a seconda delle necessità di applicazione nella costruzione o funzionare separatamente (Fig. 2). Ciò ha consentito di svolgere sperimentazioni in parallelo all'avvio del progetto per poi verificare le integrazioni nelle fasi successive. Il modulo idraulico, sviluppato dall'azienda Kawe, è composto essenzialmente da due serbatoi, una lampada UV e dai dispositivi necessari per il circolo del refluo nel modulo idraulico e l'invio all'irrigazione. Il primo serbatoio, dotato di filtro meccanico, ha la funzione di raccogliere e contenere il refluo di scarico della lavastoviglie, dalla sua produzione all'utilizzo nel biofiltro, una volta raggiunta la temperatura idonea per il trattamento. Il secondo ha la funzione di contenere il refluo trattato, disponibile per l'irrigazione. La lampada UV è utilizzata per la sterilizzazione del refluo trattato. Il sistema di filtraggio biologico è costituito da un contenitore all'interno del quale il consor-

(the consortium) is able to thrive in dishwasher wastewater. The ensemble is, therefore, a kind of "refuge" in which the heterotrophic organic load degrader and the cyanobacterium build a "home" that allows both to survive and grow in the wastewater. The "refuge" organism was selected from the collection of cyanobacteria at the Algae Laboratory of the University of Rome Tor Vergata. The chosen cyanobacterium is *Thricormus variabilis* (VRUC168), a photosynthetic and nitrogen-fixing microorganism from natural biofilms growing in the Cabras Lagoon, Sardinia. Alone, Thricormus is unable to survive in the effluent. Instead, as a whole, the selected group of microorganisms endow the biofilter with unique functions and properties that make it safe to produce fertilised water, free of hazardous chemicals[5].
Zero Mile system is the first of its kind, an innovation in kitchen wastewater recovery. The research carried out to date has involved the study and testing of materials, components, and processes, including laboratory measurements and various hypotheses for integrating biotechnology into experimental prototypes. At the current state of research, national and international patents have been filed on the system[6].

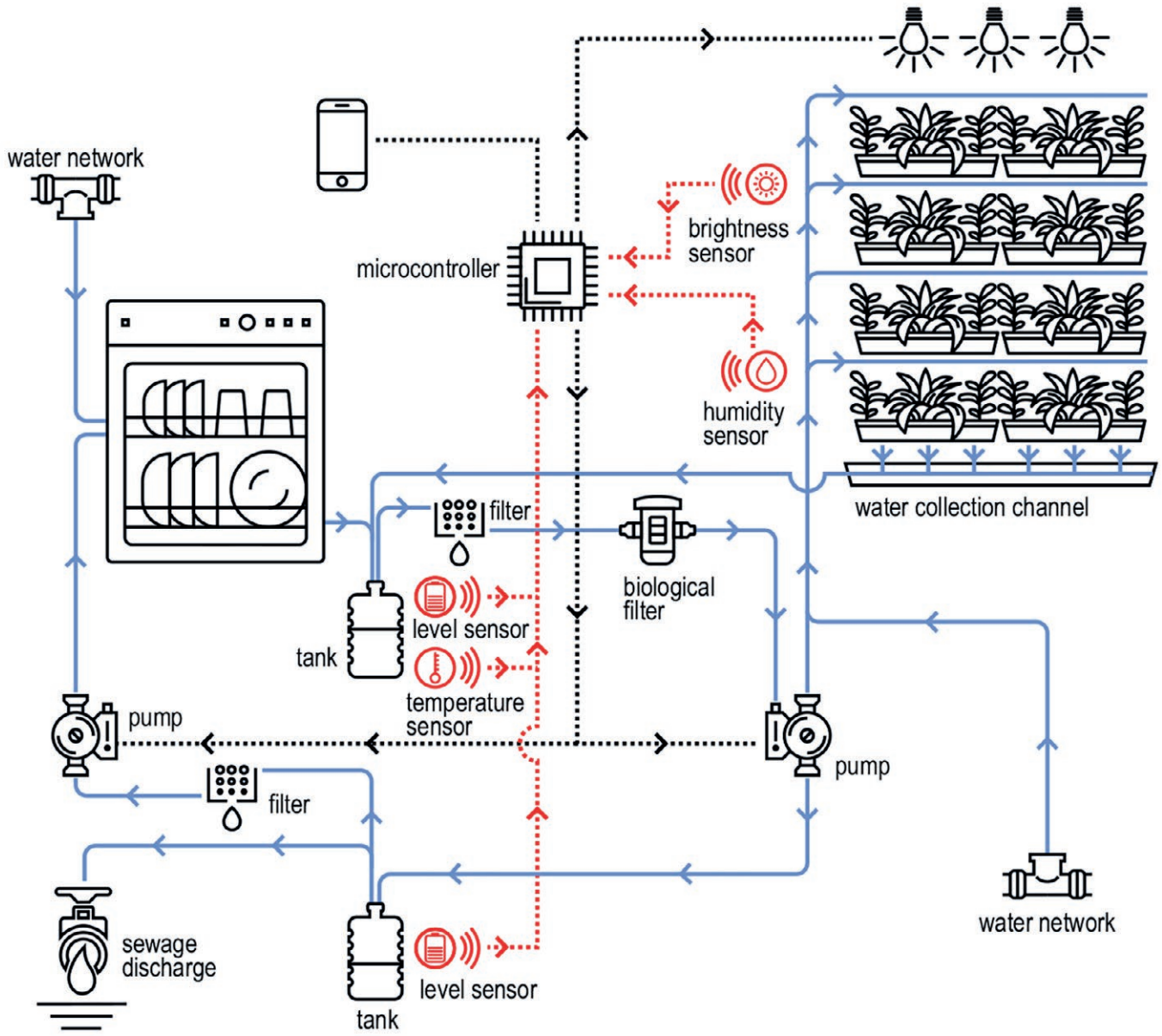
Research methodology, structure and results

The main steps of the research were: (i) technical and functional design of the Zero Mile system; (ii) development of the biofilter, including development of the microbial consortium, its application in the laboratory, and monitoring and analysis of the results; (iii) construction of a first operational prototype for an indoor environment; (iv) user-centred design research; (v) state-of-the-art analysis of vertical greening and roof gardening technological solutions; (vi) definition of design criteria for transferring the system to an outdoor environment; and (vii) construction of a second modular and interactive prototype.

i) Technical and functional design of the Zero Mile system
The Zero Mile system consists of three subsystems: the hydraulic subsystem, the bio-filtering subsystem and, finally, the cultivation subsystem. Zero Mile was designed to integrate the subsystems into a unified whole, aggregate them in variable configurations depending on the application needs in construction, or operate separately (Fig. 2). This made it possible to run experiments in parallel at the start of the project, and then to verify the integrations in subsequent phases. The hydraulic module, developed by the company Kawe, consists of two tanks, a UV lamp, and the necessary devices to circulate the effluent in the hydraulic module and send it to irrigation. The first tank, equipped with a mechanical filter, has the function of collecting and containing the wastewater from the dishwasher, from its production to its use in the biofilter, once it reaches a suitable temperature for treatment. The second tank has the function of containing the treated effluent, that is available for irrigation. The UV lamp is used for sterilisation of the treated effluent. The biological filtration system consists of a container within which the consortium of microorganisms degrades the effluent's organic load. The cultivation subsystem is organised into a vertical support structure, containment tanks and piping for drip irrigation. For indoor applications, a series

02 | Diagramma del sistema Zero Mile
Diagram of the Zero Mile system

02 |



of lamps are also required to enable uniform illumination of plants and the consortium of microorganisms.

ii) Development of the biofilter
The aim of this research phase led by the Department of Biology at Tor Vergata was to assemble an autotrophic/heterotrophic consortium using microorganisms that can thrive in dishwasher wastewater. Standard microbiological techniques allowed the isolation of heterotrophic bacteria present in dishwasher wastewater samples, identified on the basis of their 16S rRNA (Congestri *et al.*, 2019). These bacteria were assayed for their ability to assemble and grow together with *Thricormus variabilis* in progressively more complex associations (from one-to-one to one-to-three associations). The ability of the consortia formed by these microorganisms to thrive is a consequence of their relationship in quantitative and qualitative terms, which only field research has allowed to assess through continuous feedback and iterations. At the end of the assemblage tests, among the microorganisms that had demonstrated good growth in association with *Thricormus variabilis*, three were chosen based on their distribution in the effluent, precisely two dominant species and one rare species. Indeed, dominant species can efficiently utilise the resources present, while rare species make use of specific resources.

iii) Construction of a first operational prototype for an indoor environment
The first physical tests of system operation and evaluation of the relationship between artifact and space were conducted with an experimental prototype consisting of a dishwasher integrated with an indoor growing device (Fig. 3). For its sizing, the following factors were considered: a) the frequency of use of the dishwasher by Italian households, about four times a week; b) the amount of wastewater discharged at each washing cycle, about 10 litres; and c) the water consumption per plant, about 40 mL/day in the lettuce hypothesis. The following items were applied in the prototype: a) a reservoir to receive wastewater from the dishwasher; b) a mechanical filter operating on the wastewater in the reservoir; c) a pumping device from the reservoir to the green wall; d) an irrigation system; and, e) a lighting system.

iv) User-centred design research
The main barriers to the spread of wastewater reuse practices are treatment prices, besides a mix of regulatory issues and lack of credibility. If costs act as a barrier upstream, the lack of credibility is mainly related to

zio di microorganismi svolge la sua funzione di degradazione del carico organico del refluo. Il sottosistema di coltivazione è organizzato in struttura portante verticale, vasche di contenimento e tubazioni per l'irrigazione a goccia. Per l'applicazione indoor sono inoltre necessarie una serie di lampade utili a consentire un'illuminazione uniforme dei vegetali e del consorzio di microrganismi.

ii) Sviluppo del biofiltro
Obiettivo di questa fase della ricerca condotta dal Dipartimento di Biologia di Tor Vergata è stato quello di assemblare un consorzio autotrofo/eterotrofo utilizzando i microrganismi in grado di prosperare nelle acque reflue della lavastoviglie. Tecniche microbiologiche standard hanno permesso l'isolamento dei batteri eterotrofi presenti in campioni di refluo di lavastoviglie, identificati sulla base del loro 16S rRNA (Congestri *et al*., 2019). Questi batteri sono stati saggiati per la capacità di assemblarsi e crescere assieme a *Thricormus variabilis* in associazioni via via più complesse (da associazioni *one-to-one* fino ad associazioni *one-to-three*. La capacità di prosperare dei consorzi costituiti da questi microrganismi è conseguenza dello loro rapporto in termini quantitativi e qualitativi, che solo la ricerca sul campo, attraverso continui feedback e iterazioni, ha permesso di valutare. Alla fine dei test di assemblaggio, tra i microrganismi che avevano dimostrato una buona crescita in associazione con il *Thricormus variabilis*, ne sono stati scelti tre in base alla loro distribuzione nel refluo: due specie dominanti e una rara. Infatti, le specie dominanti sono quelle che sono in grado di utilizzare in maniera efficiente le risorse presenti, mentre quelle rare hanno capacità di utilizzare specifiche risorse.

iii) Costruzione di un primo prototipo operativo in ambiente indoor
I primi testi fisici di funzionamento del sistema e di valutazione della relazione tra artefatto e spazio, sono stati condotti con un prototipo sperimentale costituito da una lavastoviglie integrata con un dispositivo di coltivazione indoor (Fig. 3), per il cui dimensionamento sono stati considerati: a) la frequenza di utilizzo della lavastoviglie da parte delle famiglie italiane, circa 4 volte a settimana; b) la quantità di acque reflue scaricate ad ogni ciclo di lavaggio, circa 10 litri; c) il consumo di acqua per ogni pianta, circa 40 ml/giorno nell'ipotesi della lattuga. Nel prototipo hanno trovato applicazione: a) un serbatoio utile a ricevere i reflui di scarico della lavastoviglie; b) un filtro meccanico che opera sui reflui del serbatoio; c) un dispositivo di pompaggio dal serbatoio alla parete verde; d) un sistema di irrigazione; e) un sistema di illuminazione.

| 03

a misperception of the safety of treated wastewater (Anderson *et al*., 2008). This second aspect, in particular, is a key factor in the success of any initiative in this context (Kunz *et al*., 2016). This research used a multi-method approach (quantitative data analysis, focus groups, interviews, and stakeholder involvement) with the aim of identifying the strengths and weaknesses of the proposed system (Volontè and Grana, 2021). The first prototype was an essential element in understanding the project during the user discussion phases. The most significant aspects that emerged were: i) focus on size and relationship with other kitchen equipment; ii) the necessary easy use and preference for automation; iii) the possibility of opening up to more types of greenery to encourage greening processes; and iv) the extent of the solution's application to other rooms in the home and to additional functional types.

v) State-of-the-art analysis of vertical greening and roof gardening technological solutions
The system's application scenarios were defined in parallel with the development of the biofilter and the first prototype. This step was used to define scopes and dimensions of spatial spillovers of a technology that enables decentralised recovery and treatment of domestic greywater. Paradigmatic case studies of green architecture, vertical green projects and their implementation, and roof gardening were collected and analysed, particularly focusing on the ways and degree of integration between the proposed technology and existing construction. Two main application approaches emerged: (i) juxtaposition or overlapping, when each element of

iv) User-centred design research
I principali ostacoli alla diffusione delle pratiche di riutilizzo delle acque reflue sono, da un lato, i prezzi del trattamento, dall'altro, un mix di questioni regolatorie e mancanza di credibilità. Se i costi agiscono a monte come barriera, la mancanza di credibilità è principalmente legata ad una errata percezione di sicurezza delle acque reflue trattate (Anderson *et al*., 2008). Questo secondo aspetto, in particolare, è un fattore chiave per il successo di qualsiasi iniziativa in tale contesto (Kunz *et al*., 2016). La ricerca ha utilizzato un approccio multi-metodo (analisi di dati quantitativi, focus group, interviste, coinvolgimento di *stakeholders*), con l'obiettivo di identificare punti di forza e debolezze del sistema proposto (Volontè and Grana, 2021). Nelle fasi di confronto con gli utenti, il primo prototipo è stato un essenziale elemento di comprensione del progetto. Tra gli aspetti più significativi che sono emersi si segnalano: i) l'attenzione alle dimensioni ed alla relazione con le altre dotazioni della cucina; ii) la necessaria semplicità di utilizzo e la preferenza per l'automazione; iii) la possibilità di aprire a più tipologie di verde per favorire processi di greening; iv) l'estensione della soluzione applicativa anche ad altri ambienti della casa e ad ulteriori tipologie funzionali.

v) Analisi stato dell'arte di soluzioni tecnologiche di verde verticale e roof gardening
La definizione degli scenari applicativi del sistema è avvenuta parallelamente allo sviluppo del biofiltro e del primo prototipo. Questa fase è servita per definire ambiti e dimensioni delle ricadute spaziali di una tecnologia che permette di decentralizzare il recupero ed il trattamento delle acque grigie domestiche. Sono stati raccolti ed analizzati casi studio paradigmatici di *green architecture*, progetti e realizzazioni di verde verticale e *roof gardening*, focalizzandosi in particolare sulle modalità ed il grado di integrazione tra la tecnologia proposta e la costruzione esistente, da cui sono emersi due principali approcci applicativi: i) per giustapposizione o sovrapposizione, quando ogni elemento del sistema (nuova tecnologia verde e manufatto esistente) mantiene la propria autonomia, con l'involucro edilizio che funge così da semplice supporto; ii) per integrazione, quando i componenti cercano nuove forme di convergenza e integrazione verso un unico sistema complesso non facilmente divisibile in elementi base (Nebuloni *et al*., 2019). Da ciò derivano le strategie applicative utilizzate nella definizione dei requisiti progettuali della seconda fase della ricerca.

vi) Definizione dei criteri di progettazione per il trasferimento del sistema in ambiente esterno
I criteri progettuali definiti in questa fase si sono basati sia sugli aspetti funzionali e i vincoli ambientali che permettono di garantire la stabilità ed il benessere del consorzio biotecnologico (su tutti, l'utilizzo di materiali polimerici trasparenti per massimizzare l'apporto di luce naturale nei processi di fotosintesi e la facilità di accesso, manutenzione e movimentazione delle componenti costituenti il sistema) sia sulle condizioni per la sua integrazione nell'architettura. In questo secondo ambito, le ipotesi iniziali basate su logiche incrementali e processi di implementazione impiantistico-strutturale della costruzione, hanno via via lasciato il passo a scenari applicativi centrati sulla piccola scala di intervento, livello spaziale in cui più di altri emerge l'innovazione della soluzione proposta. Infatti, il trattamento decentrato del refluo presso i suoi punti di produzione è il van-

the system (new green technology and existing building) retains its autonomy, with the building envelope thus acting as mere support; (ii) integration, when the components seek new forms of convergence and integration toward a single complex system that is not easily divisible into basic elements (Nebuloni *et al*., 2019). Hence, the application strategies were used to define the design requirements of the second step of the research.

vi) Definition of design criteria for transferring the system to an outdoor environment
The design criteria defined at this stage were based on the functional aspects and environmental constraints that allow for the stability and well-being of the biotechnology consortium (above all, the use of transparent polymeric materials to maximise the contribution of natural light in photosynthesis processes, and easy access, maintenance and handling of the components constituting the system). They also took into account the conditions for its integration into the architecture. In the latter field, the initial hypotheses based on the building's incremental rationale and plant-structural implementation processes gradually gave way to application scenarios centred on small-scale intervention. In this spatial level, the innovation of the proposed solution emerges more than others. Decentralised treatment of wastewater at its production points is, in fact, the main advantage of the Zero Mile system over today's most popular treatment plant technology solutions.

vii) Construction of a second modular and interactive prototype
The second prototype was assembled with the aim of integrating the three subsystems into a whole, and of shaping scalability and modularity hypotheses as objectives emerging both from critical analysis of examples in the literature, and from what matured with the first prototype. The construction of the latter prioritised spatial "visualisation" of the idea for purposes of communication and comparison with users, while the second prototype was, instead, functional in experimenting with the automation aspects of the process and sizing of the technological components with a view to their integration (Fig. 4). The latter prototype also made it possible to evaluate the behaviour of the biofilter in different environmental contexts, obtaining useful data on the stability of the biotechnology consortium as lighting and temperature parameters changed. This information is now being further investigated both biologically and from a design perspective. Ease of interaction and management was another evaluation point, providing useful criteria for engineering the system. A grade three to four Technology Readiness Level was achieved by this prototype, from experimental proof of concept to laboratory-validated technology. Methodological reasons also dictated its construction, precisely to define an interdisciplinary design framework for adopting integrated bio-design solutions. According to the Research through Design methodology (Stappers and Giaccardi, 2017), this prototype was the core element, a common "physical" experimental base on which to set up cross-disciplinary research in design and biology. From a set of initial hypotheses, the research was thus approached through design cycles of prototyping, evaluation and implementation.

04 | Secondo prototipo operativo
Second operational prototype

taggio principale del sistema Zero Mile rispetto alle soluzioni tecnologico impiantistiche di trattamento oggi più diffuse.

vii) Costruzione di un secondo prototipo modulare e interattivo
Il secondo prototipo è stato costruito con l'obiettivo di integrare in un tutt'uno i tre sottosistemi, oltre che per dare forma a ipotesi di scalabilità e modularità, come obiettivi emersi sia dalla lettura critica degli esempi della letteratura sia di quanto maturato con il primo prototipo. Se la costruzione di quest'ultimo ha dato priorità alla "visualizzazione" spaziale dell'idea per finalità di comunicazione e confronto con l'utenza, il secondo prototipo è stato invece funzionale alla sperimentazione degli aspetti di automazione del processo e al dimensionamento dei componenti tecnologici in vista della loro integrazione (Fig. 4). Questo secondo prototipo ha permesso inoltre di valutare il comportamento del biofiltro in contesti ambientali differenti, ricavando dati utili sulla stabilità del consorzio biotecnologico al variare dei parametri di illuminazione e temperatura. Tali informazioni sono ora oggetto di ulteriori approfondimenti sia a livello biologico sia dal punto di vista del design. La facilità di interazione e gestione è stato un ulteriore punto di valutazione ed ha fornito criteri utili per l'ingegnerizzazione del sistema. Con questo prototipo si è giunti ad un Technology Readiness Level di grado 3/4, da *proof of concept* sperimentale a tecnologia validata in laboratorio. La sua costruzione è stata inoltre dettata da ragioni metodologiche: definire un framework progettuale interdisciplinare per l'adozione di soluzioni integrate di biodesign. Secondo la metodologia Research through Design (Stappers and Giaccardi, 2017), questo prototipo di studio è stato infatti l'elemento centrale, una comune base di sperimentazione "fisica" su cui impostare una ricerca trasversale alle discipline del design e della biologia; da un insieme di ipotesi iniziali, la ricerca è stata così affrontata attraverso cicli progettuali di prototipazione, valutazione e implementazione.

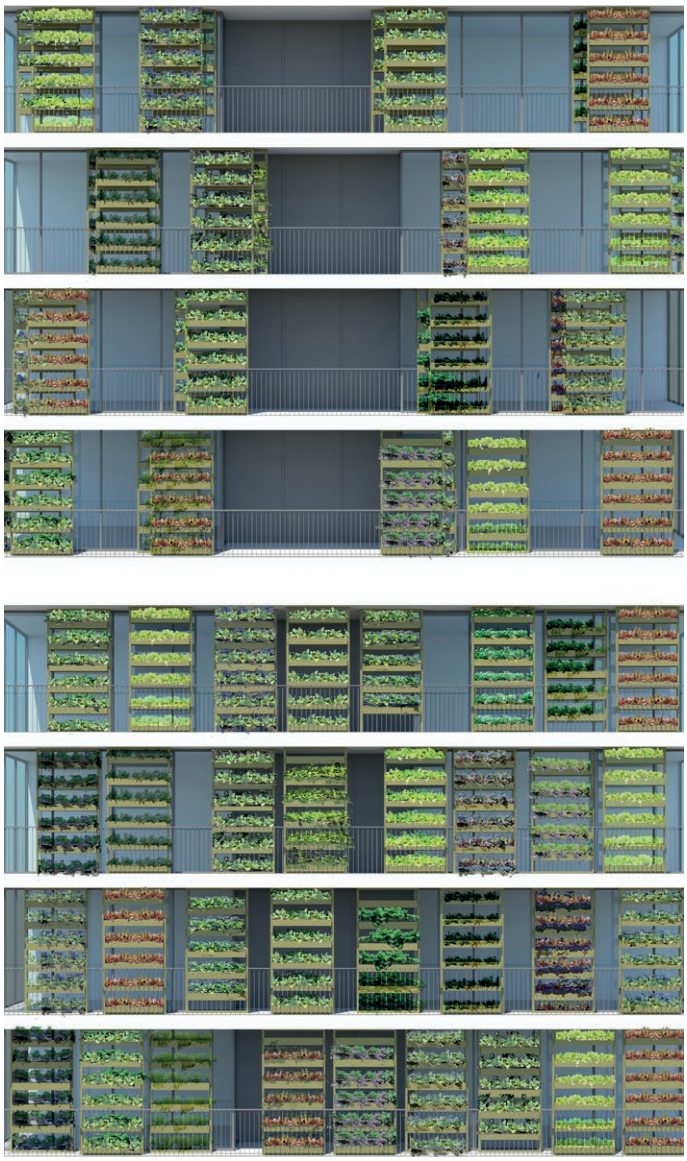
Conclusioni

L'integrazione del sistema di trattamento delle acque reflue nel contesto dello spazio costruito è una strategia che può migliorare l'efficienza dell'uso domestico dell'acqua. Zero Mile si occupa del riutilizzo delle acque reflue della lavastoviglie e può portare significativi benefici in termini di riduzione della quantità di reflui di scarico e di acqua dolce consumata. La soluzione proposta dalla ricerca permette inoltre di implementare esperienze progettuali di *green architecture* dirette non solo alla neutralità climatica delle costruzioni e all'incremento della biodiversità urbana, ma a favorire nuove forme di socializzazione che in ottica biofilica traggono beneficio della prossimità tra

| 04

Conclusions

Integrating wastewater treatment systems into the context of the built space is a strategy that can improve domestic water use efficiency. Zero Mile addresses the reuse of wastewater from the dishwasher, and can bring significant benefits in reducing the amount of wastewater effluent and freshwater consumed. The solution proposed by the research also makes it possible to implement design experiences of green architecture not only to the climate neutrality of buildings and the increase in urban biodiversity, but also to promote new forms of socialisation that, from a biophilic perspective, benefit from the proximity between man and nature. This is especially true when the proposed solution is functional for water-intensive activities, such as in the restaurant sector, setting itself up as a possible lever for the redevelopment of urban spaces through Zfarming practices and zero-mile cultivation (Weisser *et al.*, 2022) integrated into buildings (Figs. 5, 6).
The multidisciplinary dimension of the research is underpinned by the data. Indeed, according to the European Environment Agency, about three-quarters of the total CO_2 released into the atmosphere comes from the energy sectors, where building consumption accounts for one-third of the value; about 10 percent of the remainder can be attributed to agriculture in its various forms[7]. More than others, these two sectors are, therefore, called upon to play a key role in decarbonisation processes, individually and even more so at the system level. Zero Mile suggests an integrating scenario between them in the forms that characterise a small scale intervention, with benefits arising from the use of biotechnological components and the modification of simple everyday be-



uomo e natura. Ciò, in particolare, quando la soluzione proposta è funzionale ad attività ad alto consumo di acqua, come nel settore della ristorazione, configurandosi come possibile leva per la riqualificazione degli spazi urbani attraverso pratiche di Zfarming e coltivazione a chilometro zero (Weisser *et al*., 2022) integrate nelle costruzioni (Figg. 5, 6).

La dimensione multidisciplinare della ricerca trova ragione nei dati. Secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente, infatti, circa tre quarti del totale della CO_2 immessa in atmosfera deriva dai settori dell'energia, dove i consumi degli edifici quotano per un terzo del valore; della rimanente parte, il 10% circa è attribuibile all'agricoltura nelle sue diverse forme[7]. Più di altri, questi due settori sono quindi chiamati a giocare un ruolo chiave nei processi di decarbonizzazione, singolarmente e a maggior ragione a livello di sistema. Zero Mile propone uno scenario di integrazione tra di essi, nelle forme che caratterizzano una piccola scala di intervento, con benefici derivanti dall'utilizzo di componenti biotecnologici e dalla modifica di semplici comportamenti quotidiani; nello specifico: portare ad un cambiamento culturale bottom-up nella percezione del valore delle acque reflue stesse, da un lato, spingere le persone a passare da un'economia dello scarto (lineare) ad un'economia rigenerativa (e circolare), dall'altro. Le successive fasi della sperimentazione sono indirizzate: i) al design dell'elemento tecnologico biofiltro; ii) alla messa a punto del sistema, compresa l'apertura ad altri ambienti domestici[8]; iii) alla sua implementazione in ottica di componente edilizio integrato (coperture e facciate verdi); iv) allo sviluppo di scenari applicativi coerenti con l'innovazione proposta dal progetto Zero Mile ed in continuità con quanto elaborato nella prima fase della ricerca; v) alla costruzione di

haviours. The project specifically brings about a bottom-up cultural change in the perception of the value of wastewater itself, pushing people to shift from a waste (linear) economy to a regenerative (and circular) economy. The next experimental steps will address: i) the design of the biofilter technology element; ii) the fine-tuning of the system, including opening it to other domestic environments[8]; iii) system implementation in terms of an integrated building component (green roofs and façades); iv) the development of application scenarios in line with the innovation proposed by the Zero Mile project, as a continuation of what was elaborated in the first phase of the research; and v) construction of a prototype to be validated within relevant environments to increase the TRL of the technology[9].

What emerged from both case analysis and experimental results is that a progressive path of system integration must be considered for the implementation of design solutions, from independent technological solutions to hybrid forms in morphology and building components. If, as demonstrated by the research outputs, technological innovation is achievable, social, cultural, and organisational changes are not as easy to achieve. Indeed, according to the principles of Interaction Design, innovation requires social awareness and engagement to understand impacts and verify consensus. Thus, a significant challenge that future research will have to address is social acceptance of the system by involving people in the development of application solutions (Marres, 2012) in order to move from an abstract concept of recycling to a decentralised technological application closely linked to living environments by encouraging new everyday behaviours. The connection between humans and nature (Kellert and Calabrese, 2015), and the collaboration between different living organisms (Karana *et al*., 2020) will be additional elements to be emphasised in further research to involve people emotionally. Finally, the contribution of the social sciences will also be instrumental in supporting interdisciplinary collaboration between biologists and designers (Prutzer *et al*., 2023).

NOTES

[1] Examples include septic tanks and phytoremediation tanks.

[2] Using the concept of Biophilic design, Kellert and Calabrese (2015) define such synergy as the ability to create "good habitat for people as a biological organism in the modern built environment that advances people's health, fitness and wellbeing", biophilia being: "the human inclination to affiliate with nature that even in the modern world continues to be critical to people's physical and mental health and well-being" (Kellert and Wilson, 1993).

[3] Principal investigator Fiammetta Costa.

[4] Principal investigator Luciana Migliore.

[5] The use of eco-label detergents and the sourcing of effluent exclusively from the dishwasher excludes the presence of hazardous chemicals for health.

[6] 102019000004583 and WO 2020/194224 A1.

[7] See: https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction; https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20180301STO98928 (July 2024).

[8] The expansion to the system of wastewater from the washing machine.

[9] The possibility of experimenting with adopting bio-receptive materials to replace current industrialised elements used as plant growth supports is strategic.

06 | Scenario applicativo del sistema Zero Mile a scala di quartiere
Zero Mile system application scenario at the district scale

un prototipo da validare all'interno di ambienti rilevanti per l'incremento del TRL della tecnologia[9].
Ciò che è emerso sia dall'analisi dei casi sia dai risultati delle sperimentazioni, per l'implementazione delle soluzioni progettuali si dovrà infatti considerare un percorso di progressiva integrazione del sistema, da soluzioni tecnologiche indipendenti a forme ibride per morfologia e componenti costruttivi. Se come dimostrano i risultati della ricerca l'innovazione tecnologica appare raggiungibile, i cambiamenti sociali, culturali e organizzativi non sono altrettanto facili da raggiungere. Secondo i principi del Design dell'Interazione, infatti, l'innovazione richiede consapevolezza e impegno sociale per comprendere gli impatti e verificare il consenso. Un'importante sfida che la ricerca futura dovrà affrontare riguarderà quindi l'accettazione sociale del sistema attraverso il coinvolgimento delle persone nello sviluppo di soluzioni applicative (Marres, 2012) al fine di passare da un concetto astratto di riciclo ad un'applicazione tecnologica decentralizzata e strettamente legata agli ambienti di vita, con lo sviluppo di nuovi comportamenti quotidiani. La connessione tra uomo e natura (Kellert and Calabrese, 2015) e la collaborazione tra diversi organismi viventi (Karana *et al.*, 2020) sarà un ulteriore elemento da enfatizzare nel prosieguo della ricerca, al fine di coinvolgere anche emotivamente le persone. Il contributo delle scienze sociali sarà infine determinante anche per supportare la collaborazione interdisciplinare tra biologi e designer (Prutzer *et al.*, 2023).

NOTE

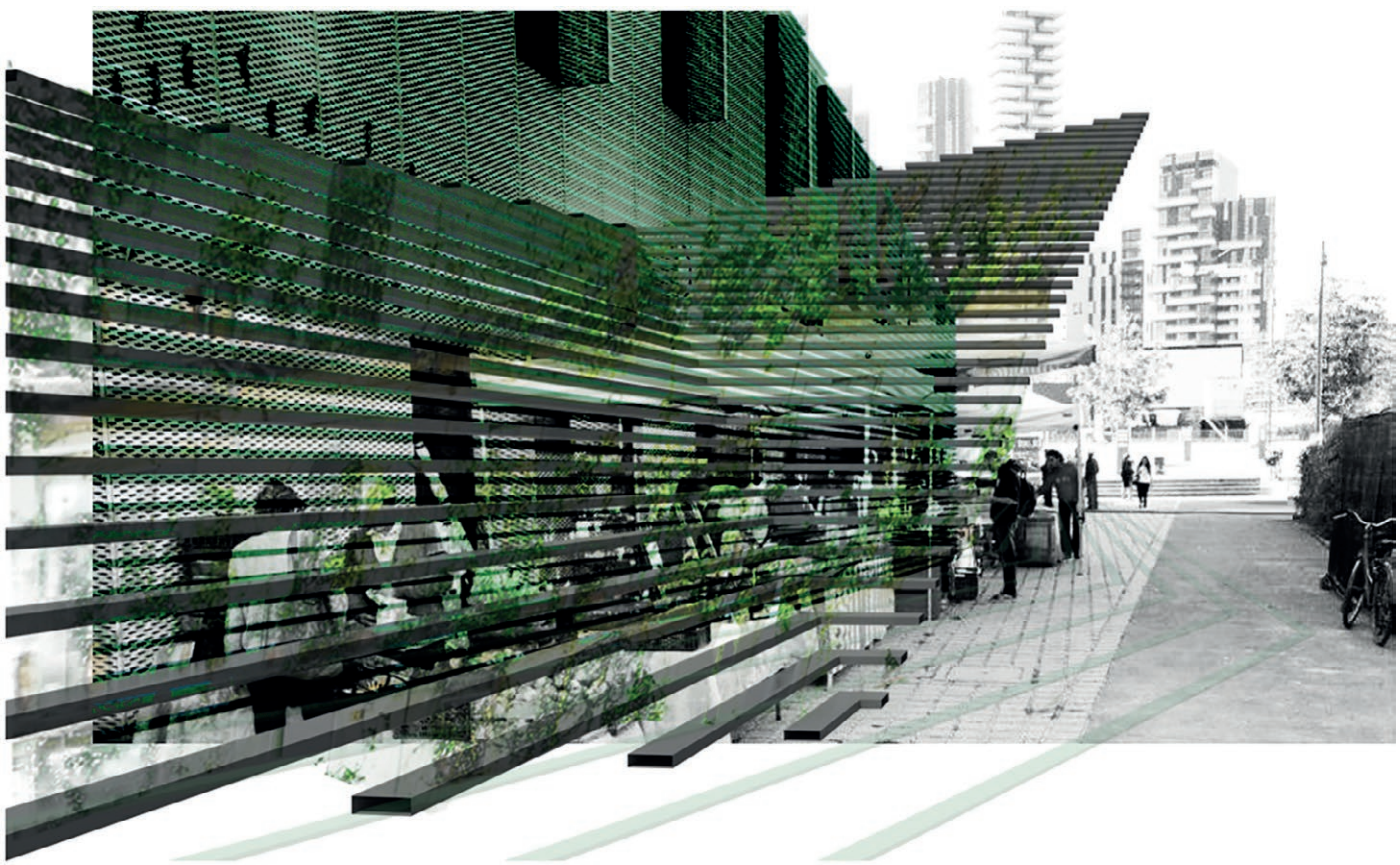
[1] Ne sono esempio le fosse settiche e le vasche per la fitodepurazione.

[2] Con il concetto di Biophilic design, Kellert e Calabrese (2015) definiscono tale sinergia come la capacità di creare «good habitat for people as a biological organism in the modern built environment that advances people's health, fitness and wellbeing», essendo la biofilia: «the human inclination to affiliate with nature that even in the modern world continues to be critical to people's physical and mental health and wellbeing» (Kellert and Wilson, 1993).

[3] Responsabile Fiammetta Costa.

[4] Responsabile Luciana Migliore.

[5] Per l'uso di detersivi Eco-label e per la provenienza dei reflui, esclusivamente dalla lavastoviglie, che permette di escludere la presenza di sostanze chimiche pericolose per la salute.



| 06

[6] 102019000004583 e WO 2020/194224 A1.

[7] https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction; https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20180301STO98928 (July 2024).

[8] L'allargamento al sistema dei reflui prevenienti dalla lavatrice.

[9] Strategica appare la possibilità di sperimentare l'adozione di materiali *bioreceptive* per sostituire gli attuali supporti per la crescita delle piante.

REFERENCES

Anderson, J. *et al.* (2008), "Public acceptance of water reuse", in Jimenez, B. and Asano, T. (Eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*, IWA, London.

Barbagallo, S. *et al.* (2003), "Wastewater reuse in Italy", in *WS&T*, 43(10): 43-50. Available at: https://doi.org/10.2166/wst.2001.0576

Bichai, F. *et al.* (2018), "Addressing Barriers in the Water-Recycling Innovation System", in *Journal of Cleaner Production*, 171: 97-109. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.062

Congestri, R. *et al.* (2019), "The biological filter for an innovative Sustainable Product System to recycle domestic wastewater", in *European Recent Advances in the Microalgae Field*, EuAlgae COST Action, Madrid.

Costa, F. and Nebuloni, A. (2021), *The Jetsons' kitchen. A zero-mile system for wastewater recycling and cultivation*, FrancoAngeli, Milano.

Feeny, D. *et al.* (1990), "The Tragedy of the Commons", in *Human Ecology*, 18(1): 1-19. Available at: https://doi.org/10.1007/BF00889070

Gonçalves, A.L. *et al.* (2017), "A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment", in *Algal Research*, 24: 403-415. Available at: https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.11.008

Karana, E. *et al.* (2020), "Living Artefacts: Conceptualizing Livingness as a Material Quality in Everyday Artefacts", in *International Journal of Design*, 14: 37-53.

Kellert, S. and Wilson, E. (1993), *The Biophilia Hypothesis*, Island Press, Washington.

Kellert, S. and Calabrese, E. (2015), The Practice of Biophilic Design. Available at: http://www.biophilic-design.com

Kunz, N.C. *et al.* (2016), "Drivers for and against municipal wastewater recycling: A review", in *WS&T*, 73(2): 251-259. Available at: https://doi.org/10.2166/wst.2015.496

Marres, N. (2012), *Material Participation: Technology, the Environment and Everyday Publics*, Palgrave Macmillan, London.

Nebuloni, A. *et al.* (2019), "Zero-kilometre plants production", in Ambrosio, M. and Vezzoli, C. (Eds.), *Designing sustainability for all*, POLI.design, Milano.

Posadas, E. *et al.* (2013), "Carbon and nutrient removal from centrates and domestic wastewater using algal–bacterial biofilm bioreactors", in *Bioresource Technology*, 139: 50-58. Available at: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.04.008

Posadas, E. *et al.* (2017), "Microalgae cultivation in wastewaters", in Muñoz R. and González C. (Eds.), *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, Elsevier, 67-91.

Prutzer *et al.*, (2023), "Rethinking responsibility in precision agriculture innovation: lessons from an interdisciplinary research team", in *Journal of Responsible Innovation*, 10(1): 13. Available at: https://doi.org/10.1080/23299460.2023.2202093

Stappers, P.J. and Giaccardi, E. (2017), "Research through Design", in Soegaard, M. and Friis-Dam, R. (Eds.), *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, The Interaction Design Foundation.

Volontè, P. and Grana, M. (2021), "What people think: Attitudes towards recycling, recycling for food use, and a prototype eco-dishwasher", in Costa F. and Nebuloni A. (Eds.), *The Jetsons' kitchen*, FrancoAngeli, Milano.

Walk, H. and Dierich, A. (2014), "Urban agriculture of the future: An overview of sustainability aspects of food production in and on buildings", in *Agriculture and Human Values*, Springer Nature, (31). Available at: https://doi.org/10.1007/s10460-013-9448-4

Weisser, W.W. *et al.* (2023), "Creating ecologically sound buildings by integrating ecology, architecture and computational design", in *People and Nature*, Wiley & Sons, 5: 4–20. Available at: https://doi.org/10.1002/pan3.10411

WWAP, United Nations World Water Assessment Programme (2017), "The United Nations World Water Development Report 2017", in *Wastewater: The Untapped Resource*, Paris, UNESCO. Available at: https://doi.org/10.18356/df181e6f-en

Oasi urbane blu-verdi: generare nuovi punti freschi nei quartieri troppo caldi

Mariana Pereira Guimarães, https://orcid.org/0000-0002-3387-851X
Valentina Dessì, https://orcid.org/0000-0003-1839-491X
Dipartimento di Architettura e Studi Urbani Politecnico di Milano, Italia

mariana.pereira@polimi.it
valentina.dessi@polimi.it

Abstract. L'articolo presenta una metodologia per la progettazione di oasi urbane strategicamente localizzate, utili per migliorare il comfort termico negli spazi urbani. La metodologia prevede: 1) identificazione su scala urbana di quartieri vulnerabili dal punto di vista socio-economico e ambientale; 2) mappatura all'interno dei quartieri selezionati degli spazi freschi esistenti; 3) individuazione, attraverso l'analisi delle reti spaziali, delle aree distanti più di 5 minuti a piedi dalle aree fresche precedentemente analizzate, e dunque più esposte al caldo; 4) la proposta di interventi puntuali, con soluzioni basate sull'uso dell'acqua (WBS) e vegetazione, da inserire negli spazi urbani con buone potenzialità di essere le nuove oasi urbane. La metodologia è stata testata nel quartiere Corvetto a Milano.

Parole chiave: Comfort termico; Raffrescamento evaporativo; Vivibilità; Adattamento climatico; Approccio olistico transcalare.

Introduzione

Lo stress termico rappresenta una delle sfide ambientali e di salute pubblica più urgenti, con il caldo estremo che è la prima causa di morte tra gli eventi climatici estremi, in particolare durante le ondate di calore sempre più frequenti e intense che colpiscono prevalentemente le fasce più fragili della popolazione, fra le quali gli anziani e le persone socio-economicamente vulnerabili, che non hanno la possibilità di adattare le proprie case (WHO, 2016). Le città affrontano rischi amplificati a causa dell'effetto combinato con la UHI (*Urban Heat Island*, isole di calore urbane), in cui la morfologia, l'uso di materiali non adeguati, e la scarsa presenza di spazi verdi peggiorano le condizioni. Il riscaldamento globale sta accelerando più rapidamente del previsto (IPCC, 2018) e l'Europa vedrà un significativo aumento delle temperature estive (EEA, 2020). Nonostante la chiara urgenza di adeguate misure di adattamento, anche i Comuni più efficienti, con risorse adeguate disponibili, faticano a implementare misure rapide e su larga scala necessarie per affrontare le crescenti esigenze.

Nel Nord Europa, i Paesi Bassi, nonostante da sempre abbiano focalizzato l'attenzione sulla gestione di piogge in eccesso e alluvioni, stanno lavorando in maniera molto attiva nell'integrazione di misure di adattamento al calore. Attraverso il "Delta Programme in Spatial Adaptation" sviluppato dal Ministero delle infrastrutture e della gestione delle acque, a partire dal 2015 il Paese ha sviluppato piani a lungo termine (2050 e 2100) fornendo ai Comuni un quadro di riferimento per integrare misure efficaci nelle politiche esistenti.

I Paesi mediterranei, tipicamente più soggetti a questi fenomeni, sembrano incidere in maniera meno efficace. L'Italia ha compiuto progressi significativi, soprattutto in termini di mitigazione, grazie al Patto dei Sindaci. Questa iniziativa ha acquisito slancio a livello locale, guidando gli sforzi attraverso i Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC). Tuttavia, sul fronte dell'adattamento, sono Milano e Bologna a svolgere un ruolo pilota nell'affrontare gli impatti del caldo estremo.

Il piano urbanistico di Bologna (PUG) affronta in modo innovativo lo stress termico, includendo misure di adattamento come l'uso obbligatorio di materiali da costruzione con un elevato valore di albedo (in sostanza materiali chiari e lisci, invece che scuri e rugosi), Misure basate sull'uso di NbS (*Nature based Solutions*, soluzioni basate sull'uso degli elementi naturali, e imponendo che i nuovi sviluppi urbanistici non vadano a peggiorare le condizioni del microclima locale (Cremonini *et al.*, 2023). È stata sviluppata una mappa della vulnerabilità

Blue-green urban oasis: creating strategic cool spots in overheated neighbourhoods

Abstract. The paper presents a methodology for adapting to urban overheating by creating strategically located blue-green oases – combining vegetation and water systems to enhance neighbbourhood thermal comfort. Focusing on Milan's Corvetto district as an example, the methodology includes 1) identifying socio-environmentally vulnerable neighbourhoods at the city scale; 2) mapping existing cool spots within the neighbourhood; 3) identifying areas beyond a 5-minute walking radius from these cool spots; and 4) proposing local interventions, such as water-based solutions (WBS), in urban spaces that could become new "cool spots". The results highlight a network of potential new cooling spaces.

Keywords: Thermal comfort; Evaporative-cooling; Liveability; Climate adaptation; Holistic cross-scalar approach.

Introduction

Heat stress is one of the most urgent environmental and public health challenges today, with extreme heat now causing the highest mortality rates among climate extremes, particularly during increasingly frequent and severe heatwaves that disproportionately affect the elderly and socio-economically vulnerable populations, which cannot adapt their living environment (WHO 2016). Cities face amplified risks of heatwaves due to them being combined with the Urban Heat Island (UHI) effect, where morphology, materials and scarce greenery exacerbate rising temperatures. Global warming is accelerating faster than anticipated (IPCC, 2018), with Europe expected to see sharp increases in summer temperatures (EEA, 2020). While the urgency of adaptation is clear, even municipalities with robust governance and resources struggle to implement the rapid, large-scale measures required to keep pace with escalating demands.

In Northern Europe, the Netherlands has emerged as a surprising leader in mainstreaming heat adaptation measures, despite its traditional focus on managing extreme rainfall and floods. Through the "Delta Programme in Spatial Adaptation", launched in 2015 by the Ministry of Infrastructures and Water Management, the country has established long-term plans (2050 and 2100) providing municipalities with a cohesive framework to integrate heat resilience into existing policies.

Mediterranean countries, which have been dealing with these issues for decades, seem to be less effective in addressing them. Italy, a country more severely affected by extreme heat, has made significant progress, particularly concern-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16596

microclimatica per conoscere le zone della città con le più alte concentrazioni di popolazione vulnerabile maggiormente esposte al calore eccessivo.
Milano ha identificato le sezioni censuarie come unità minima per effettuare queste valutazioni ad una scala minuta. Ha quindi identificato le sezioni con la maggiore vulnerabilità al calore.
Il Piano Aria e Clima di Milano, adottato nel 2022, promuove strategie come l'espansione della copertura arborea, l'aumento delle aree verdi, la riduzione delle superfici impermeabili e l'uso di tetti e pareti verdi. Tuttavia, sebbene efficaci, le strategie di inverdimento da sole non sono sufficienti e devono essere accompagnate da misure aggiuntive per mitigare in modo completo gli impatti del calore urbano (Pascal *et al*., 2021).

Un metodo per riconoscere le vulnerabilità della città e le potenzialità dei suoi spazi urbani

Le mappe risultanti dall'analisi delle zone censuarie di Bologna e Milano rivelano che le aree ambientalmente vulnerabili sono diffuse in tutta la città, coprendo una porzione significativa dell'ambiente costruito. Le soluzioni sostenibili per ridurre le temperature spaziano dal miglioramento delle reti blu e verdi a livello cittadino, alla mobilità sostenibile, e a misure locali puntuali per migliorare le condizioni di comfort termico negli spazi urbani.
Da dove dovrebbero iniziare i Comuni? Poiché l'adattamento è un processo impegnativo da diversi punti di vista, la sfida consiste nel decidere le priorità e saper allocare efficacemente le risorse.
Il metodo proposto (Fig. 1) è stato sviluppato nell'ambito di una tesi di dottorato di ricerca, parte del progetto di ricerca EU-MSCA-ITN-EID- SOLOCLIM (SOLutions for Outdoor CLIMate Adaptation)[1], e suggerisce di partire dall'identificazione delle aree urbane socialmente ed economicamente vulnerabili ed esposti al calore estremo, adottando un approccio ispirato ai concetti sviluppati per le città olandesi. Questo approccio si concentra sull'individuazione e la creazione di "oasi fresche," piccoli spazi pubblici con una buona potenzialità per l'installazione di WBS (Water Based Solutions, sistemi di raffrescamento basati sull'uso dell'acqua), dando priorità a questi interventi (percorsi freschi e punti freschi) lungo i principali tragitti pedonali e ciclabili.
La ricerca ha messo in evidenza l'importanza della scala del quartiere: queste aree sono più grandi delle sezioni censuarie, ma più piccole dei Municipi. Questa scala intermedia, tra la città intera, dove è difficile un intervento simultaneo e coordinato, e la zona censuaria o lo spazio urbano, nel quale il singolo intervento non ha un impatto significativo nelle aree intorno, è ormai ampiamente riconosciuta come efficace per generare cambiamenti significativi (Gobster, 2001), evidenziando l'importanza di una pianificazione che contestualmente consideri fattori sociali, ambientali ed economici.
Sulla base del metodo olandese, è stata sviluppata una nuova metodologia. Come illustrato in Figura 1, il processo si articola in:

1. un'analisi a livello urbano per identificare i quartieri socialmente ed economicamente vulnerabili ed esposti al caldo estremo, tramite GIS, telerilevamento e analisi spaziale;
2. la selezione di un quartiere con un alto livello di vulnerabilità per mappare e valutare i punti freschi esistenti con l'individuazione delle aree densamente vegetate, (che possono essere in seguito misurate in una campagna di misure);

ing mitigation, thanks to the Covenant of Mayors. This initiative has gained momentum at the local level, driving efforts through Action Plans for Sustainable Energy and Climate (PAESC). However, on the adaptation front, Milan and Bologna have taken the lead in addressing the impacts of extreme heat.
Bologna's urban plan (PUG) innovatively tackles urban heat stress by incorporating informed adaptation measures, such as enforcing the use of high-albedo building materials (i.e. light and smooth materials, instead of dark and rough ones) and NbS (Nature-based Solutions), and mandating that new developments maintain or improve local microclimates (Cremonini *et al*., 2023). A microclimatic vulnerability map highlights census blocks throughout the city with the highest concentrations of vulnerable populations at greater risk of heat exposure.
Similarly, Milan has used the census blocks as the unit to identify the highest vulnerability to heat exposure within the city. These block units are the smallest Census unit that could be used to perform this analysis. The Milan Air and Climate Plan, adopted in 2022, promotes strategies like expanding tree canopies, increasing green areas, reducing paved surfaces, and encouraging green roofs and walls. While effective, greening strategies alone are insufficient and must be paired with additional measures to mitigate urban heat impacts comprehensively (Pascal *et al*., 2021).

A method to identify the city's vulnerabilities and assess the potential of its urban spaces

The resulting census block maps for Bologna and Milan reveal that environmentally vulnerable areas are widespread across the cities, encompassing a significant portion of the built environment. Available solutions to reduce temperatures range from city-wide blue-green networks and sustainable mobility options to localised measures that enhance thermal comfort.
Where should municipalities begin? Since adaptation requires attention from multiple perspectives, the challenge lies in prioritising interventions and distributing resources efficiently.
The proposed method (Fig. 1) was developed as part of a PhD thesis within the framework of the EU-MSCA-ITN-EID- SOLOCLIM (SOLutions for Outdoor CLIMate Adaptation)[1] research project. It suggests starting by identifying areas in the city that are socially and economically vulnerable and exposed to extreme heat, where a framework inspired by concepts developed for Dutch municipalities focused on identifying and creating "cool oases," small public spaces that have the potential to receive extra WBS (Water-based cooling systems), and prioritising these interventions (cool paths and cool spots) along key pedestrian and circling routes. The research underscores the importance of working at the neighbbourhood scale systematically. Indeed, these areas are bigger than census blocks but smaller than districts, and correspond closely to the ISTAT (National Statistical Institute) Census Area (Aree di Censimento–ACE). The neighbbourhood scale is widely recognised as effective for impactful change (Gobster, 2001), emphasising the importance of context-specific planning that considers social, environmental, and economic factors.
A methodology was developed based on the Dutch approach. As shown in figure 1, the process included:

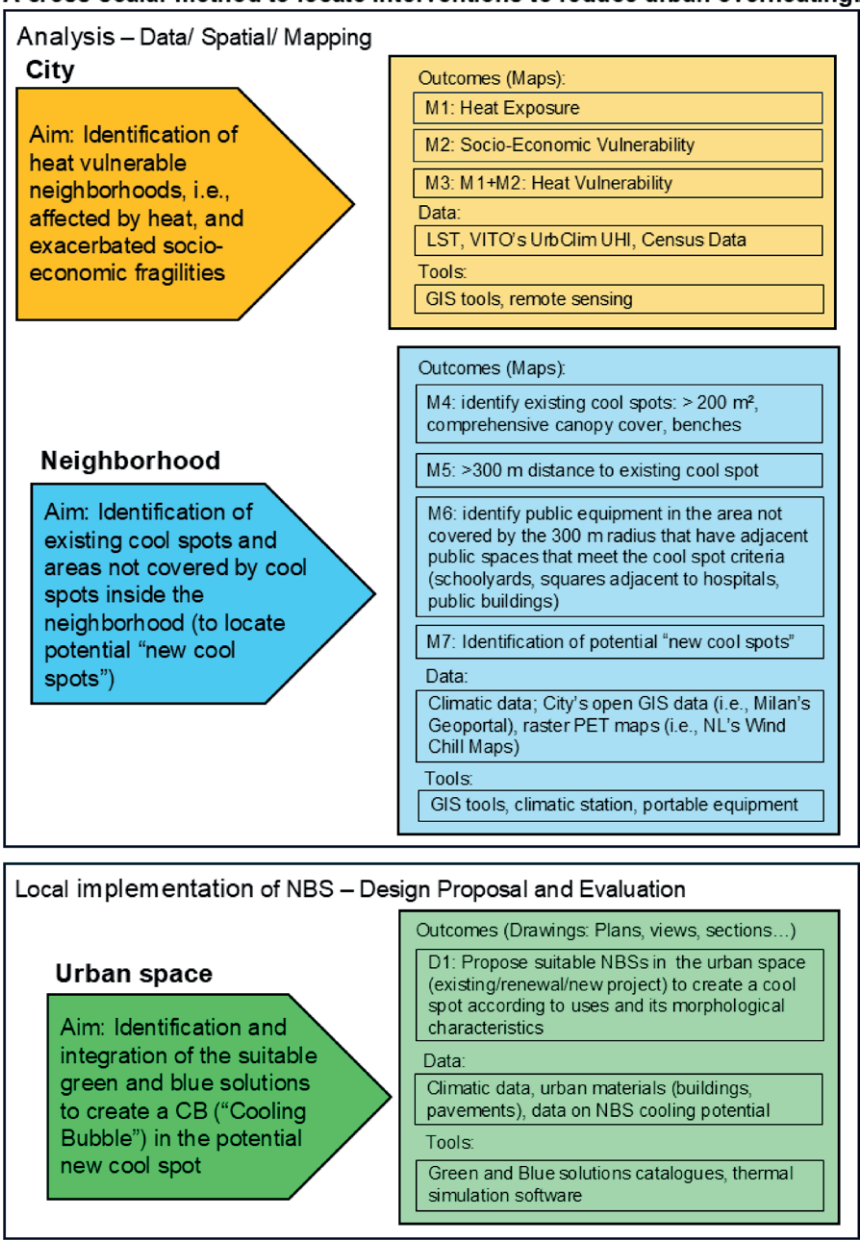
3. mappatura delle aree ad una distanza minima di 300 metri (5 minuti di camminata) per valutare la copertura di punti di sosta freschi e, allo stesso tempo, la non presenza di essi, utile anche per identificare nuove potenziali "oasi fresche";
4. la stima dell'efficacia di WBS ed in generale di NbS su scala locale, tramite simulazioni di comportamento termico per verificare il reale potenziale di raffrescamento delle "oasi fresche" proposte.

L'implementazione della metodologia. Il caso della città di Milano in Italia

Vulnerabilità al calore della città di Milano

La metodologia è stata applicata alla città di Milano, soggetta a ondate di calore estivo sempre più intense e prolungate nel tempo. Nella prima fase sono stati utilizzati due set di dati per mappare l'esposizione al calore: dati sull'intensità delle UHI con risoluzione di 100m (2008-2017), simulati con il software

A cross-scalar method to locate interventions to reduce urban overheating: | 01



UrbClim (De Ridder *et al*., 2018) della società belga VITO[2], e i dati di LST (Land Surface Temperature, cioè temperatura in prossimità della superficie). I dati raster generati dal software UrbClim fanno parte del programma Copernicus European Health per il Copernicus Climate Change Service (C3S).
Questi dati in formato raster sono generati da una serie di input modellati per fornire una visione completa dei cambiamenti della temperatura dell'aria in tutta la città.
Il secondo set di dati si riferisce alle temperature diurne della superficie terrestre utilizzando i dati Landsat-8, disponibili sul Geoportale del Comune di Milano, resi disponibili da Bloomberg Associates e NOA (l'Osservatorio Nazionale di Atene).
I dati UrbClim della società VITO e LST Landsat-8 sono stati processati per le ACE (aree censuarie) di Milano, considerate unità di quartiere dall'ISTAT, utilizzando lo strumento "Statistiche zonali" nel software GIS ESRI ArcGIS Pro[3].
Dai risultati appare che le ACE centrali siano maggiormente esposte al calore, coerentemente con la morfologia urbana di Milano: le aree centrali sono densamente edificate, pavimentate e molto trafficate, mentre i parchi e in particolare i parchi agricoli alla periferia contribuiscono a mitigare le temperature dell'aria e della superficie. Nel Nord Italia, il calore è spesso combinato con elevata umidità, rendendo le ondate di calore particolarmente pericolose.
L'esposizione al calore da sola non è sufficiente per identificare i quartieri vulnerabili. Lo studio ha quindi integrato fattori socio-economici che contribuiscono alla vulnerabilità utilizzando tre variabili: reddito, livello di degrado delle abitazioni e la dipendenza, un indice basato sull'età dei gruppi economicamente attivi e non attivi.

- ACE a basso reddito: I dati sul reddito per codice postale del Ministero delle Finanze sono stati normalizzati per evidenziare le aree a basso reddito. I gruppi a basso reddito in Italia sono più sensibili al calore per una minore capacità adattiva (Martiello *et al*., 2008), come l'impossibilità di permettersi condizionatori e miglioramento dell'involucro edilizio, mentre le popolazioni anziane benestanti hanno la possibilità di adattare le proprie abitazioni ed eventualmente trasferirsi temporaneamente in zone più fresche (Campolo *et al*., 2024).
- Qualità delle abitazioni: I dati sugli edifici in cattivo stato di manutenzione provenienti dall'8milaCensus ISTAT hanno evidenziato aree dove strutture vecchie e scarsamente isolate aggravano la domanda di energia per il raffrescamento e il disagio durante le ondate di calore (Zinzi *et al*., 2020).
- Indice di dipendenza: Il database ISTAT 2011 è stato utilizzato per calcolare un indice di dipendenza, dividendo le persone non autonome (sotto i 14 anni e sopra i 65 anni) per la popolazione in età lavorativa (15–64 anni).

I dati confermano che il centro di Milano presenta una vulnerabilità socio-economica inferiore, mentre la periferia mostra una maggiore vulnerabilità, in linea con studi che evidenziano concentrazioni di popolazioni fragili nelle aree periferiche e una crescente polarizzazione socio-spaziale della città (Pasqui, 2022).
Ogni indicatore è stato mappato sulle ACE e standardizzato su una scala da 1 a 5 utilizzando ESRI ArcGIS Pro. La vulnerabilità al calore è stata visualizzata in una matrice bivariata, combinando vulnerabilità socioeconomica ed esposizione al calore (Fig. 2). La mappa risultante identifica almeno quattro ACE in cui una forte esposizione al calore si sovrappone a elevate con-

1. A city-wide analysis to identify socio-economically vulnerable neighbourhoods that are exposed to extreme heat by using GIS, remote sensing, and spatial analysis;
2. Selecting a qualifying neighbourhood to map and assess existing cool spots;
3. Using a 300-metre minimum walking distance to evaluate coverage of refreshing stops and identify potential new "cool spots";
4. Testing NbS at the local scale with thermal simulation software; alternatively, consult an efficacy catalogue of solutions or consult with experts to estimate the cooling potential of the proposed "cool oasis".

Applying the Method: The Milan Case Study

Heat Vulnerability in Milan

The methodology was applied in Milan, Italy, which is subject to increasingly intense and prolonged summer heat waves. For Step 1, two datasets were used to map heat exposure: UHI intensity data from the Belgian company VITO's[2] UrbClim software 2008-2017 – simulations of high resolution air temperature data (100m resolution) (De Ridder *et al*., 2018), and LST (daytime land surface temperatures) from Landsat-8 imagery, available through Milan's Geoportal. The raster data generated by the UrbClim software is part of the Copernicus European Health programme for the Copernicus Climate Change Service (C3S). These raster-format data are generated from a series of inputs modelled to provide a comprehensive view of air temperature changes throughout the city.
The second dataset refers to diurnal land surface temperatures using Landsat-8 data input, courtesy of Bloomberg Associates and NOA, the National Observatory of Athens.
Taking a different approach from what has been done in climate plans in Italy, VITO's UrbClim and Landsat-8 LST data were processed for Milan's census areas (ACE) as neighbourhood units mapped by the ISTAT, using the "Zonal Statistics" tool in ArcGIS Pro[3].
Results indicate that central ACEs face greater heat exposure, consistent with Milan's urban morphology. Central areas are heavily built up, paved, and traffic-congested, while urban parks and agricultural parks in the city's outskirts mitigate air and surface temperatures. Heat is often combined with high humidity levels in Northern Italy, making heatwaves especially dangerous.
Heat exposure alone is insufficient to identify vulnerable neighbourhoods. Therefore, the study incorporated socioeconomic factors contributing to vulnerability by using three variables: income, housing quality, and a dependency index, based on the age of economically and non-economically active groups.

- Low Income ACEs: Income data by postal code from the Italian Ministry of Finance was normalised to highlight low income areas. Studies show that low income groups in Italy face greater heat sensitivity due to reduced adaptive capacity (Martiello *et al*., 2008), such as the capacity to afford air conditioning and housing improvements, while affluent elderly populations can temporarily relocate to cooler areas (Campolo *et al*., 2024).
- Housing Quality: Data on poorly maintained buildings from ISTAT's 8milaCensus highlighted areas where ageing, poorly insulated structures exacerbate cooling ener-

centrazioni di gruppi vulnerabili, inclusi individui dipendenti e residenti a basso reddito in abitazioni degradate.

Punti Freschi e Infrastrutture NBS: Un Caso Studio nel quartiere Corvetto di Milano

Nei Passaggi 2 e 3, la metodologia si focalizza sulla scala di quartiere, applicando i principi dei "punti freschi" e della "distanza minima dai punti freschi" basati sulle linee guida olandesi per facilitare la pianificazione municipale di adattamento al calore. Un "punto fresco," come definito in Kluck *et al.* (2020) è uno spazio pubblico all'aperto di almeno 200 mq, accessibile, sicuro, e dotato di panchine, con temperature percepite di Temperatura Fisiologica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature*, PET) inferiori a 35°C. Nello studio presente, valori compresi tra 9°C e 26°C sono considerati confortevoli (Höppe, 1999). Valori leggermente superiori possono indicare un lieve disagio, mentre temperature significativamente superiori a questo intervallo sono associate a un forte stress termico. Nei Paesi Bassi, vengono utilizzati dai Comuni mappe raster PET ad alta risoluzione per identificare questi spazi (Koopmans *et al.*, 2020).

Per Milano, invece, lo studio ha mappato le aree verdi esistenti coperte da alberi e ha eseguito misurazioni in loco utilizzando dispositivi Kestrel® 5400 (Klok *et al.*, 2021) per calcolare i valori di PET.

È stato selezionato il quartiere di Corvetto per implementare la metodologia sviluppata. Situato a sud-est di Milano, il quartiere è caratterizzato da una prevalenza di edilizia popolare. Quest'area marginale urbana rappresenta una transizione tra la città compatta e la cintura verde, confinando a sud con il Parco Agricolo Sud e a est con Porto di Mare.

Nel quartiere Corvetto, sono state individuate diverse aree che soddisfano i criteri dei punti freschi. Sono stati inclusi anche spazi inferiori a 200 metri quadrati per il loro potenziale di utilizzo pubblico. Questi includono: Piazzale Gabrio Rosa, Parco Pubblico S. Caviglia, Area Verde Buca, Piazza Bonomelli, Giardino Pubblico Nervesa (Parco Rosso) e Parco Verde in Via Longanesi-Nervesa (Fig. 3).

Le misurazioni, effettuate secondo i criteri di Kluck dei parametri climatici per la valutazione delle condizioni di comfort termico sono state effettuate il 4 e 5 giugno 2024 con due dispositivi Kestrel® 5400. La tabella 1 riassume i risultati ottenuti.

Nel Passaggio 3, lo strumento "Service Area Network" di ArcGIS Pro è stato utilizzato per mappare l'area di 300 metri di distanza percorribile a piedi da questi punti freschi, tenendo conto delle condizioni della rete stradale, delle barriere e dei percorsi pedonali (Fig. 4). Lo standard dei 300 metri, basato su diversi studi (Coffin and Morrall, 1995; Nuijten, 2008), mira a garantire che, entro una camminata di 5 minuti, gruppi vulnerabili come anziani, bambini o persone con disabilità possano riposarsi e rinfrescarsi durante eventi di caldo estremo mentre si dirigono verso servizi pubblici e attrezzature, come scuole, uffici pubblici, farmacie o supermercati situati nel quartiere.

Nuove forme di oasi urbane. Dalle potenzialità degli spazi urbani alla loro valorizzazione

La fase successiva si focalizza sulla scala locale, per la progettazione architettonica di siti potenzialmente trasformabili in nuovi punti freschi a Corvetto, dando priorità alle aree con basse prestazioni ambientali secondo il PGT 2030 di Milano. È stata selezionata la via Ravenna, una via residenziale che vie-

gy demand and discomfort during heatwaves (Zinzi *et al.*, 2020).
– Dependency Index: ISTAT's 2011 database was used to calculate a dependency index that divides non-autonomous individuals (under 14 and over 65) by the working-age population (15-64).

Data confirm that central Milan exhibits lower socio-economic vulnerability, while the outskirts show higher vulnerability, aligning with studies highlighting fragile populations concentrated in peripheral areas and the city's increased socio-spatial polarisation (Pasqui, 2022).

Each indicator was mapped to the ACEs and standardised on a 1-5 scale using ESRI ArcGIS Pro. Heat vulnerability was visualised in a bivariate matrix, combining socio-economic vulnerability with heat exposure (Fig. 2). The resulting map identifies at least four ACEs where high heat exposure intersects with high concentrations of vulnerable groups, including dependent individuals and low income residents in poorly maintained housing.

Cool Spots and NbS Infrastructure: A Case Study in Corvetto, Milan

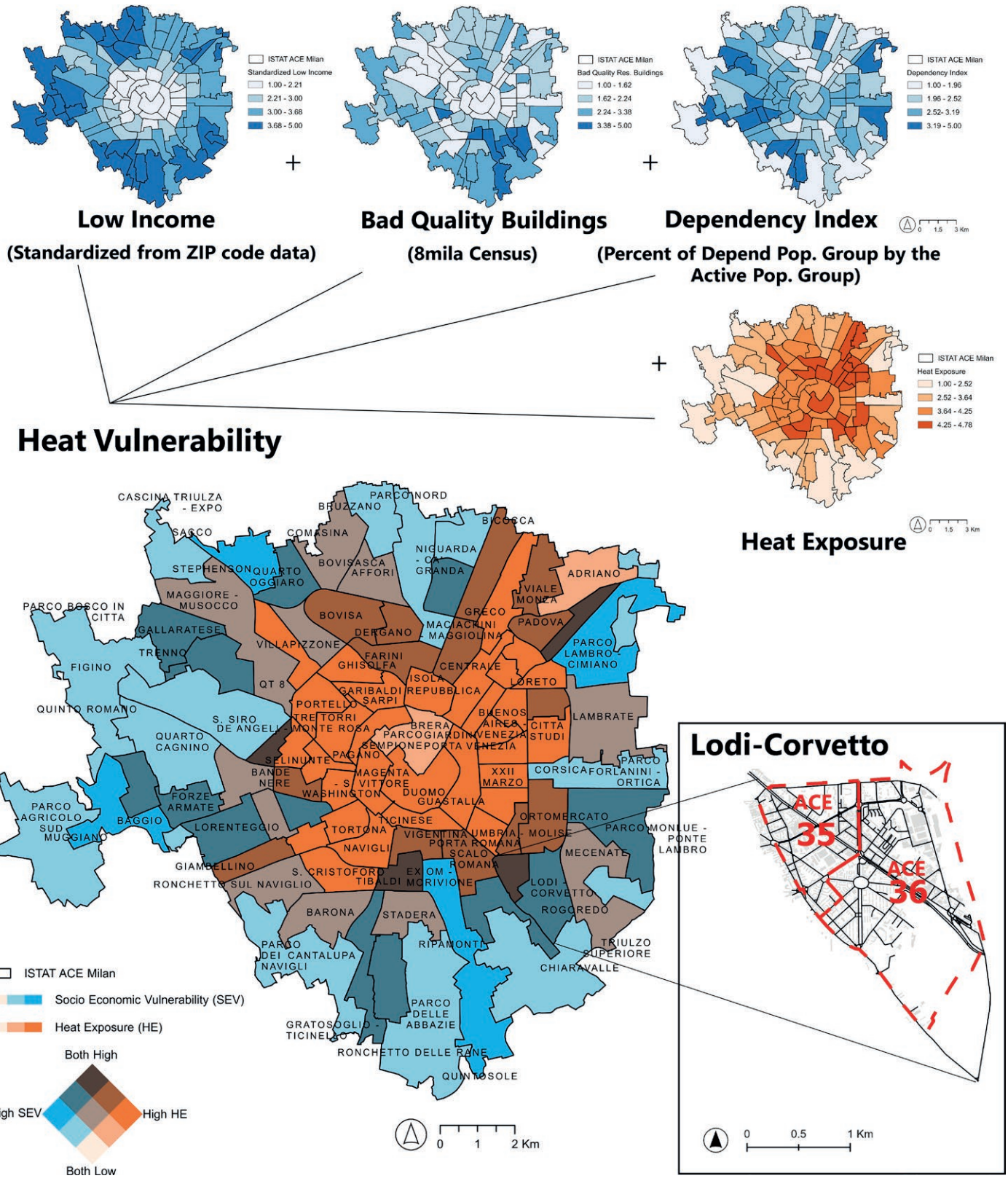
In Steps 2 and 3, the methodology scales down to the neighbourhood level, applying the principles of "cool spots" and minimum distance to cool spots" based on Dutch guidelines designed to streamline municipal heat adaptation planning. A "cool spot," as defined by (Kluck *et al.*, 2020), is a public outdoor space of at least 200 square metres that is accessible, safe, and equipped with benches, with perceived temperatures falling below the Physiological Equivalent Temperature (PET) of 35°C. This study considers values between 9°C and 26°C comfortable (Höppe, 1999). Slightly higher values may indicate mild discomfort, while temperatures significantly above this range are associated with severe heat stress. In The Netherlands, municipalities use high resolution PET raster maps to identify these spaces (Koopmans *et al.*, 2020). Instead, for Milan, this study mapped tree-covered existing green areas and conducted on-site measurements using Kestrel® 5400 (Klok *et al.*, 2021) devices to calculate PET values.

The Corvetto neighbourhood was selected to apply the methodology highlighted in this paper. Located in south-east Milan, Corvetto is characterised by the prevalence of public housing. This marginal urban area transitions between the compact city and the green belt, bordered by Parco Agricolo Sud to the south and Porto di Mare to the east. Several areas meeting the cool spot criteria were identified in Corvetto. Spaces smaller than 200 square metres were also included due to their strategic public use potential. These include Piazzale Gabrio Rosa, Parco Pubblico S. Caviglia, Area Verde Buca, Piazza Bonomelli, Giardino Pubblico Nervesa (Parco Rosso), and Parco Verde in Via Longanesi-Nervesa (Fig. 3).

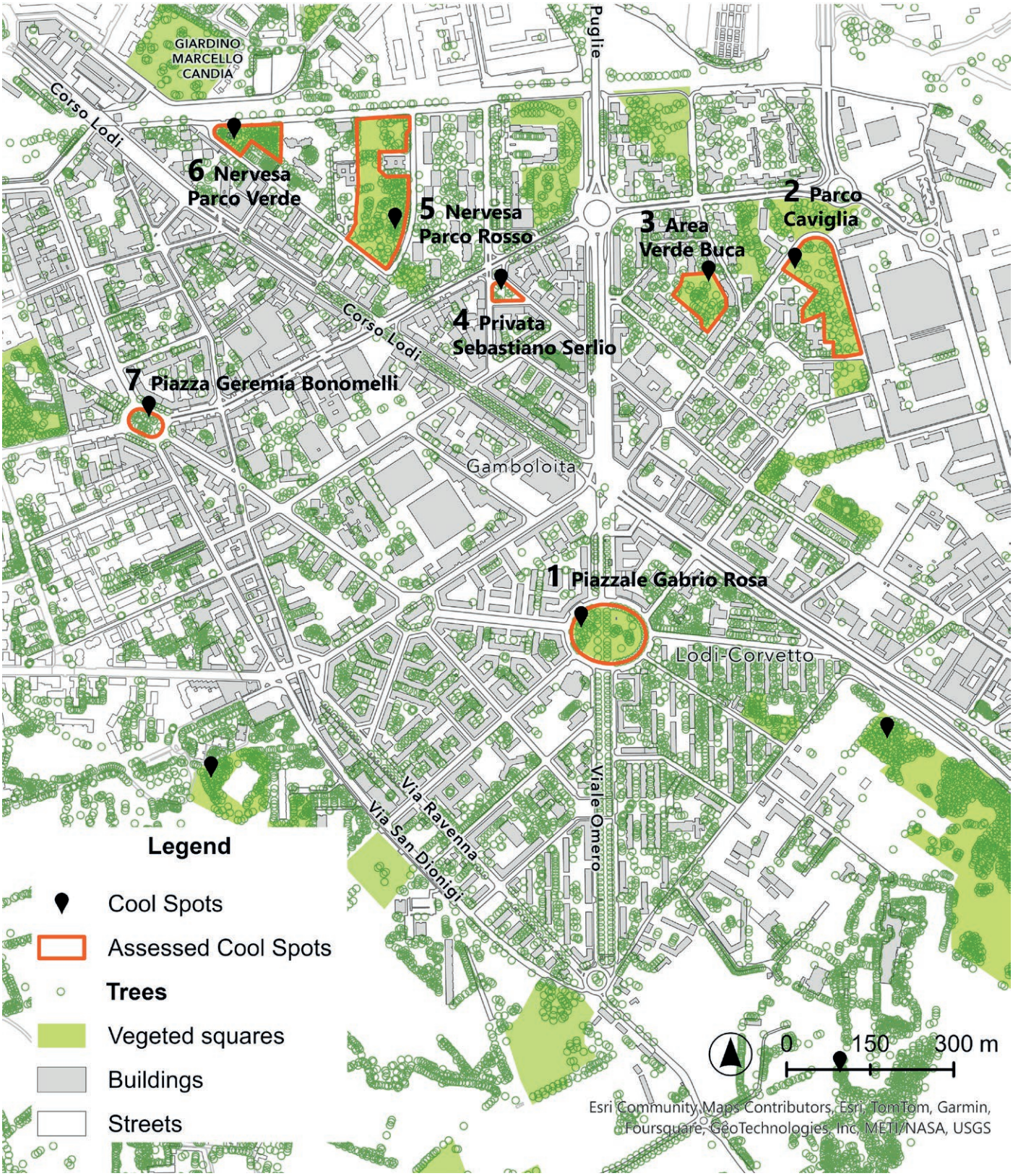
Measurements conducted on 4-5 June 2024, using two Kestrel® 5400 trackers, evaluated these spaces against Kluck *et al.*'s criteria. Table 1 summarises these results.

In Step 3, ArcGIS Pro's "Service Area Network" tool was used to map the 300-metre walking distance area from these cool spots, accounting for road network conditions, barriers, and pedestrian pathways (Fig. 4). The 300-metre standard, based on several studies (Coffin and Morrall, 1995; Nuijten, 2008), aims to guarantee that,

02 |


ISTAT ACE Milan
Standardized Low Income
1.00 - 2.21
2.21 - 3.00
3.00 - 3.68
3.68 - 5.00
Low Income
(Standardized from ZIP code data)
ISTAT ACE Milan
Bad Quality Res. Buildings
1.00 - 1.62
1.62 - 2.24
2.24 - 3.38
3.38 - 5.00
Bad Quality Buildings
(8mila Census)
ISTAT ACE Milan
Dependency Index
1.00 - 1.96
1.96 - 2.52
2.52- 3.19
3.19 - 5.00
Dependency Index
(Percent of Depend Pop. Group by the Active Pop. Group)
Heat Vulnerability
ISTAT ACE Milan
Heat Exposure
1.00 - 2.52
2.52 - 3.64
3.64 - 4.25
4.25 - 4.78
Heat Exposure
CASCINA TRIULZA - EXPO
PARCO NORD
BRUZZANO
BICOCCA
SACCO
COMASINA
NIGUARDA - CA' GRANDA
STEPHENSON
QUARTO OGGIARO
BOVISASCA AFFORI
ADRIANO
VIALE MONZA
MAGGIORE - MUSOCCO
PARCO BOSCO IN CITTA
BOVISA
GRECO
PADOVA
GALLARATESE
DERGANO
MACIACHINI - MAGGIOLINA
TRENNO
VILLAPIZZONE
PARCO LAMBRO - CIMIANO
FIGINO
FARINI
GHISOLFA
CENTRALE
QT 8
ISOLA
LORETO
GARIBALDI REPUBBLICA
QUINTO ROMANO
PORTELLO
SARPI
BUENOS AIRES
LAMBRATE
S. SIRO DE ANGELI
TRE TORRI
MONTE ROSA
BRERA
CITTA STUDI
QUARTO CAGNINO
PARCO GIARDINI
PORTA VENEZIA
SEMPIONE
PAGANO
SELINUNTE
CORSICA
PARCO FORLANINI - ORTICA
BANDE NERE
MAGENTA - S. VITTORE
XXII MARZO
WASHINGTON
DUOMO
GUASTALLA
FORZE ARMATE
PARCO AGRICOLO SUD MUGGIANO
BAGGIO
TICINESE
ORTOMERCATO
LORENTEGGIO
TORTONA
PARCO MONLUE' - PONTE LAMBRO
VIGENTINA
UMBRIA - MOLISE
NAVIGLI
PORTA ROMANA
MECENATE
SCALO ROMANA
GIAMBELLINO
S. CRISTOFORO
EX OM - MORIVIONE
RONCHETTO SUL NAVIGLIO
TIBALDI
LODI - CORVETTO
ROGOREDO
BARONA
STADERA
PARCO DEI CANTALUPA NAVIGLI
RIPAMONTI
TRIULZO SUPERIORE
CHIARAVALLE
PARCO DELLE ABBAZIE
GRATOSOGLIO - TICINELLO
RONCHETTO DELLE RANE
QUINTOSOLE
ISTAT ACE Milan
Socio Economic Vulnerability (SEV)
Heat Exposure (HE)
Both High
High SEV
High HE
Both Low
0 1 2 Km
Lodi-Corvetto
ACE 35
ACE 36
0 0.5 1 Km

03 | Mappa del quartiere Corvetto, con evidenziate le aree vegetate in verde e siti selezionati per un'indagine microclimatica sul campo
Map of Corvetto district, highlighting vegetated areas in green and selected sites for a microclimatic field survey



Tab. 01 | Risultati della campagna di misure in differenti aree verdi del quartiere Corvetto a Milano in 2 giorni del mese di giugno 2024
Data gathered during the 2-day microclimatic field survey, in June 2024

Tab. 01 |

Location	Air. Temp.		Rel. Hum.		Wind Speed		MRT		PET**	
	°C		%		m/s		°C		°C	
04-Jun-24										
Ref. station: Via Juvarra* Average H.3-6 pm:	24.5		46.9		1.0					
	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade
1 Piazzale Gabrio Rosa	35.3	26.3	36.7	46.5	0.0	0.0	50.3	30.3	43.7	26.8
2 Parco Caviglia	36.5	24.9	36.7	54.9	0.0	0.4	40.9	28.0	39.2	24.8
3 Area Verde Buca	34.2	27.2	35.3	49.4	0.0	0.0	38.3	24.2	36.3	24.7
05-Jun-24										
Ref. station: Via Juvarra* Average H.1-3 pm:	25.5		48.1		1.8					
	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade
4 Privata Sebastiano Serlio	27.4	24.5	51.0	55.0	0.2	0.7	50.6	26.5	40.0	23.2
5 Nervesa Parco Rosso	28.1	25.1	52.2	57.8	0.2	0.6	55.2	26.7	42.7	24.0
6 Nervesa Parco Verde	27.5	25.8	55.0	55.7	0.2	0.5	55.4	28.0	42.9	25.5
7 P.zza Geremia Bonomelli	28.7	25.8	54.0	56.0	0.2	0.8	54.8	28.5	43.2	24.8

* ARPA (Lombardy Regional Agency for Environmental Protection)

** Thermal comfort's range 9°C<PET<26°C. Thermal comfort is possible for PET<29°C for certain adapted groups

ne percorsa dai residenti per andare a prendere il bus, per andare alla vicina area giochi e al mercato coperto. È particolarmente esposta al calore e priva di punti freschi nelle vicinanze (Fig. 5). Questa strada lunga 750 metri presenta diversi spazi sottoutilizzati adatti a ricevere NbS per creare "isole fresche" ad uso pubblico.

Le simulazioni realizzate con il software ENVI-met V5, condotte nell'ambito del progetto SOLOCLIM hanno valutato le prestazioni di raffrescamento di vari WBS, in particolare – nebulizzatori, getti d'acqua, stagni e pareti d'acqua verticali. I risultati indicano riduzioni della temperatura dell'aria di 3-6°C con nebulizzatori, 5-7°C con getti e 2-5°C con pareti d'acqua. Il raffrescamento WBS si dimostra efficace su piccola scala, offrendo sollievo immediato, promuovendo interazioni sociali e aumentando l'attrattività degli spazi urbani.

Sulla via Ravenna sono state individuate tre tipologie di spazi differenti per dimensione, configurazione e uso, che si trovano all'inizio, alla fine e a metà via.

1. La fermata dell'autobus all'inizio di Via Ravenna rappresenta un'opportunità ideale per un punto fresco con nebulizzatori d'acqua.
2. A metà della strada, un'area giochi con copertura arborea scarsa potrebbe beneficiare di getti d'acqua a terra, creando un'oasi fresca" per bambini e accompagnatori, rappresentando un'ulteriore occasione di gioco e attrattività dello spazio.
3. In Piazza Angilberto II (Fig. 6), un'area parcheggio recentemente riqualificata attraverso il programma di urbanistica tattica milanese Piazze Aperte, presenta poco ombreggiamento, ma diverse opportunità per un miglioramento microclimatico. Poiché gli alberi richiedono tempo per crescere e fornire un'adeguata ombra, l'area potrebbe essere migliorata introducendo WBS, aumentando l'attrattività e la vivibilità dello spazio (Pereira Guimarães and Dessì, 2022).

La Piazza Angilberto è stata simulata per 48 ore in giorni tipicamente caldi di giugno (22-23.06) utilizzando ENVI-met 5 per valutare l'efficacia dell'introduzione di vari sistemi. È stato fatto

within a 5-minute walk, vulnerable groups, such as the elderly, children or disabled individuals can rest and cool down during extreme heat events while they walk to public equipment and services (such as schools, public offices, a pharmacy or a supermarket) located in the neighbourhood.

Urban Oases Redefined: Harnessing the Potential of Public Spaces

The next step focuses on the small urban design scale of identified potential sites to be turned into new cool spots in Corvetto, prioritising areas with low environmental performance as per Milan's PGT 2030. Via Ravenna, a road used by the residents to access bus stops, a playground, and schools. It is notably heat-exposed and lacks nearby cool spots (Fig. 5). This 750-metre-long street features several underutilised spaces suitable to receive NbS to create "cooling islands" for public use.

Simulations using ENVI-met V5 conducted during the SOLOCLIM project evaluated the cooling performance of various WBS-misting systems, jets, ponds, and vertical water walls. The results indicate air temperature reductions of 3-6°C with misting systems, 5-7°C with jets, and 2-5°C with water walls. Water-based cooling can be effective on a very small scale, offering immediate relief while fostering social interactions and increasing the overall attractiveness of urban areas. Three types of areas were identified along the street, varying in size, configuration, and use, located at the beginning, roughly in the middle, and at the end.

1. The bus stop at the beginning of Via Ravenna presents an ideal water-misting cool spot opportunity.
2. Midway along the street, a playground with sparse tree cover could benefit from ground jets, creating a "bubble of freshness" for children and caregivers.
3. At Angilberto II Square (Fig. 6), a recently repurposed parking area through the Open Squares tactical urbanism municipal programme, has minimal shade and presents several opportunities for enhanced cooling. Since trees take time to grow to provide adequate shade, the area could be improved by introducing water-based solutions, enhancing its attractiveness and liveability.

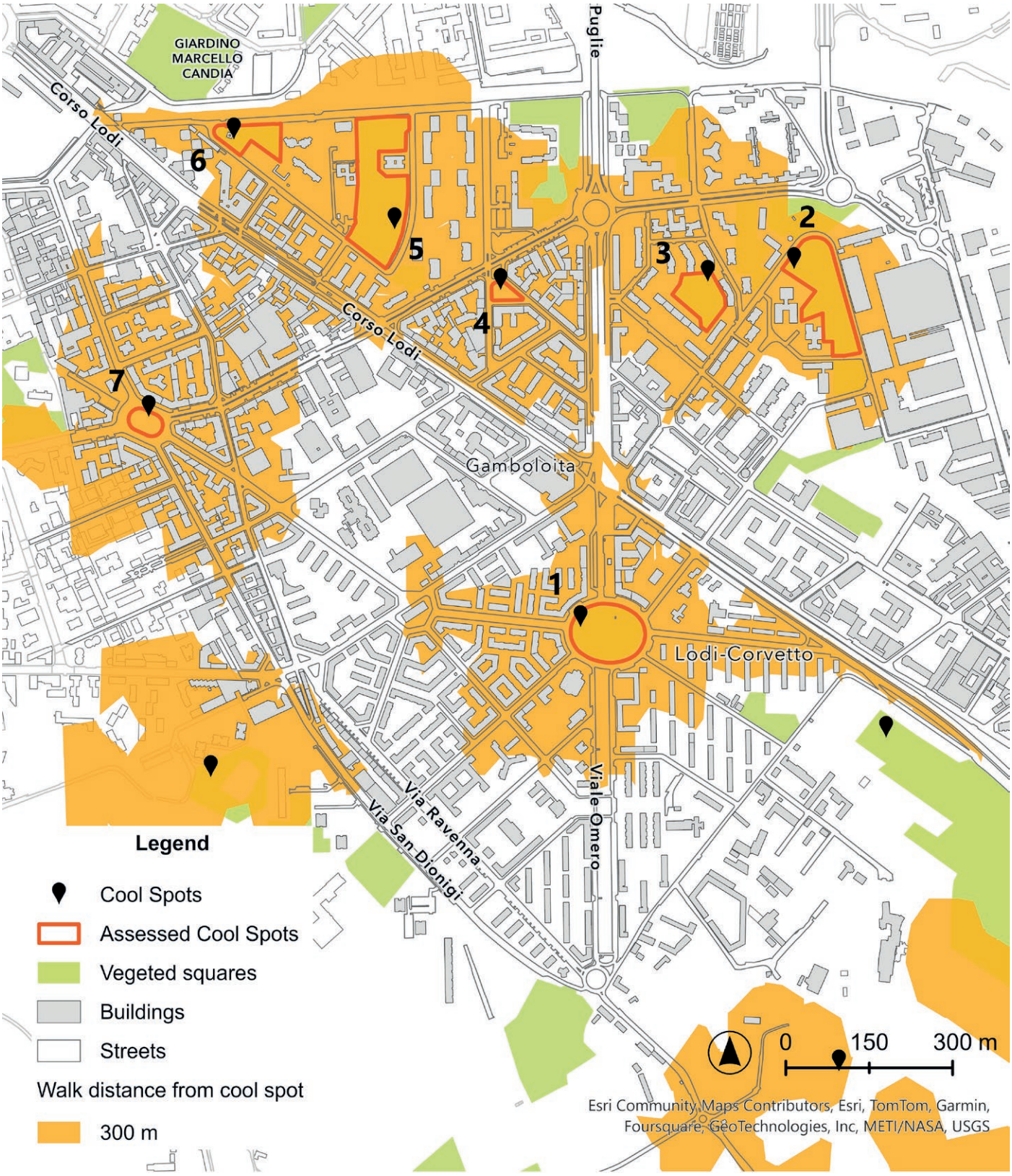
Angilberto square was simulated over 48 hours on a couple of typical hot days late in June (EPW file for Milano Linate airport) using ENVI-met V5 to assess the effectiveness of introducing various systems. A comparison was made between the current condition and a proposed design incorporating NbS, such as an additional tree, misting systems along the façade of the shops, water jets on the square, and new vegetated surfaces. Figure 7 illustrates the improvements achieved in terms of both air temperature and PET. The simulation results for the 14.00 hs show reductions in air temperature of almost 10°C and improvements in terms of PET from 3-10°C in the new square, drastically enhancing the perceived comfort for users of this outdoor space.

Conclusions

This research introduces a trans-scalar methodology to enhance overall urban resilience through public space interventions. By mapping environmental and socio-economic vulnerabilities at the neighbourhood scale, the study identifies critical areas for targeted NbS measures. These interventions

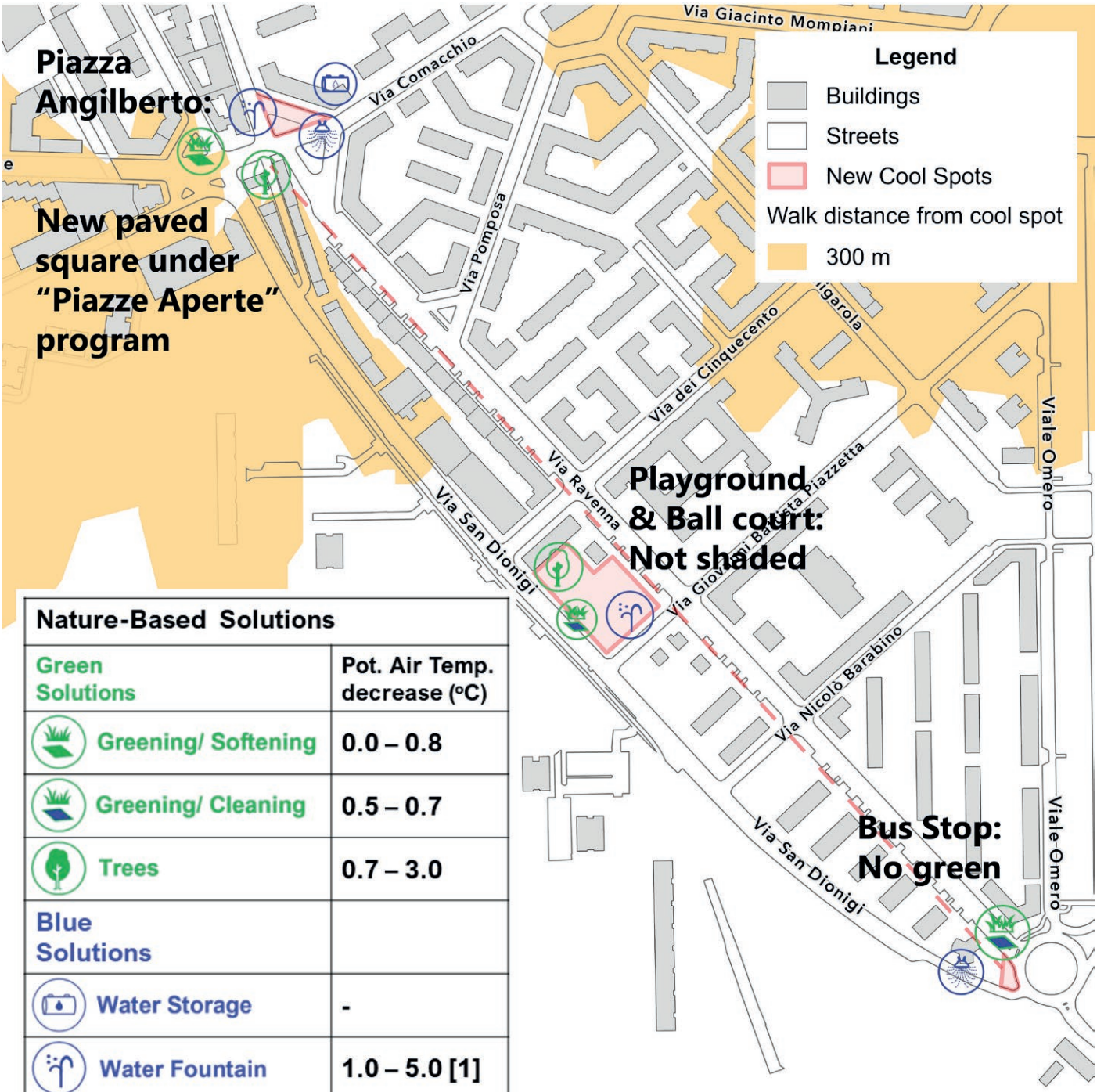
04 | Mappa del quartiere Corvetto. In arancione le aree distanti meno di 5 minuti a piedi dai punti freschi (aree vegetate). Le restanti aree, in bianco, sono le zone calde che necessitano della presenza di aree fresche.

Map of the Corvetto district with a 5-minute walking distance from vegetated areas shown in orange, identifying zones requiring climatic improvement (white in the map)



05 | Focus su Via Ravenna a Corvetto, che mostra tre potenziali punti freschi per l'implementazione di soluzioni basate sull'acqua
Focus on Via Ravenna in the Corvetto district, showing three potential cool spots for implementing water-based solutions

05 |



Nature-Based Solutions	
Green Solutions	Pot. Air Temp. decrease (°C)
Greening/ Softening	0.0 – 0.8
Greening/ Cleaning	0.5 – 0.7
Trees	0.7 – 3.0
Blue Solutions	
Water Storage	-
Water Fountain	1.0 – 5.0 [1]
Water Mists	1.0 – 7.0 [2]

[1] Xue, F. et al., 2014; [2] Ulpiani, G. et al., 2019; literature and from ENVI-met simulations carried out for Milan's 2018 summer

Esri Community Maps Contributors, Esri, TomTom, Garmin, Foursquare, GeoTechnologies, Inc, METI/NASA, USGS

un confronto tra la condizione attuale e una proposta progettuale che incorpora NbS, come un nuovo albero, nebulizzatori lungo la facciata dei negozi, getti d'acqua nella piazza e nuove superfici vegetate. La figura 7 illustra i miglioramenti ottenuti in termini di temperatura dell'aria e PET. I risultati della simulazione alle ore 14:00 mostrano riduzioni della temperatura dell'aria di quasi 10°C e miglioramenti del PET di 3-10°C nella nuova piazza, migliorando drasticamente il comfort percepito dagli utenti di questo spazio esterno.

Conclusioni

Questa ricerca introduce una metodologia trans-scalare per migliorare la resilienza urbana complessiva attraverso interventi negli spazi pubblici. Mappando le vulnerabilità ambientali e socio-economiche alla scala del quartiere, lo studio identifica aree critiche dove implementare NbS per il miglioramento del microclima. Questi interventi non solo migliorano il comfort termico locale, ma rappresentano anche il punto di partenza per una rete integrata più ampia in grado di mitigare le isole di calore urbane, supportando benessere e vivibilità.

Il paper ha anche messo in evidenza l'importanza di riconoscere le potenzialità degli spazi con caratteristiche fisiche e funzionali specifiche ai quali è opportuno associare le NbS più adatte, in modo da generare una costellazione di oasi fresche all'interno del quartiere che le persone possono utilizzare nell'arco della giornata. La flessibilità dell'approccio offre opportunità di applicazione nelle città europee che affrontano simili problematiche, con potenziali adattamenti a contesti globali, incluse aree con risorse limitate o in rapida urbanizzazione. A seconda delle zone climatiche o delle disponibilità locali, infatti, potrà essere valorizzata una risorsa o un'altra, per esempio l'acqua in climi caldi secchi con disponibilità idriche adeguate, invece che la vegetazione anche in zone a clima più umido. L'uso dell'acqua potrebbe rappresentare un problema nel caso di scarsità della risorsa. Per questo motivo è importante ottimizzare il suo utilizzo, e scegliere il sistema giusto.

Garantire un accesso equo ai punti freschi e alle nuove oasi urbane entro 5 minuti a piedi e utilizzare simulazioni per orientare in maniera consapevole gli interventi permette di mettere a sistema le esigenze del progetto architettonico dello spazio urbano con le soluzioni per l'adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici a lungo termine. È tuttavia importante ricordare che, soprattutto con l'aumentare dell'intensità del calore nelle città, una sola strategia riduce lo stress termico ma non è sufficiente a garantire condizioni di comfort termico.

Sebbene la metodologia sia solida, la sua dipendenza da dati ad alta risoluzione, anche provenienti da simulazioni sofisticate, potrebbe limitarne l'applicazione in regioni con scarsa disponibilità di dati o in assenza di competenze professionali specifiche. Vista l'importanza del tema, sempre più in futuro sarà opportuno garantire la diffusione di documentazione, strumenti e metodi per facilitarne l'uso da parte delle pubbliche amministrazioni e dei progettisti, così da ampliarne l'accessibilità e l'impatto in realtà urbane diverse.

ATTRIBUZIONE

Questa ricerca è stata finanziata dal programma EU Horizon 2020 (Grant Agreement No. 861119) nell'ambito dell'iniziativa di ricerca H2020-MSCA-ITN EID SOLOCLIM-EU. Fa inoltre parte della tesi di dottorato del primo autore.

improve localised thermal comfort and form the starting point for a potentially broader connected network that mitigates UHI, supporting well-being and liveability. Additionally, it also emphasised the importance of identifying spaces with specific physical and functional characteristics, where the most suitable NbS can be applied, creating a network of cooling oases within the neighbourhood.

The approach's flexibility offers opportunities for application across European municipalities facing similar challenges, with potential adaptations to other global contexts, including resource-constrained or rapidly urbanising areas. Depending on climate and resource availability, some solutions may be more suitable than others. In hot, dry climates with enough water, WBS may be prioritised over vegetation. In areas presenting scarce resources, it is also crucial to optimise water use. However, it is important to remember that, especially with the increase in heat intensity in cities, a single strategy might reduce thermal stress (e.g. water) but is not sufficient to guarantee thermal comfort conditions.

Ensuring equitable access to cool spots within a 5-minute walk and leveraging simulations to guide informed interventions aligns urban design with long-term climate adaptation strategies.

While the methodology is robust, its reliance on high resolution data and advanced simulations may also limit immediate implementation in data-scarce regions or the absence of specific professional skills.

Given the significance of the issue, it will be crucial in the future to ensure the widespread availability of documentation, tools, and methods that can support its adoption by public administrators and designers. Future research should explore how to incorporate low-cost tools and community-driven approaches into this framework, enhancing its accessibility and effectiveness in diverse urban settings.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the EU Horizon 2020 programme (Grant Agreement No. 861119) as part of the H2020-MSCA-ITN EID SOLOCLIM-EU research initiative. It also forms part of the first author's PhD thesis.

NOTES

[1] The research H2020- MSCA- ITN EID SOLOCLIM includes European Industrial Doctorate programmes (EID), and it is one of the possible ITN, i.e. Innovative Training Networks as part of Marie Sklodowska-Curie Actions funded by the European Commission within the Horizon 2020 programme. www.soloclim.eu. The research part reported in this paper is also the topic of the first author's PhD thesis.

[2] VITO is a Flemish research organisation based in Belgium, specialising in translating scientific knowledge into technical solutions.

[3] ArcGIS Pro is a geospatial platform developed by ESRI that integrates data across geographic context.

06 | Immagini della Piazza Angilberto nella fase di urbanistica tattica e nella successiva della sua riconfigurazione definitiva
Images of Angilberto Square during the tactical urbanism phase and now current configuration

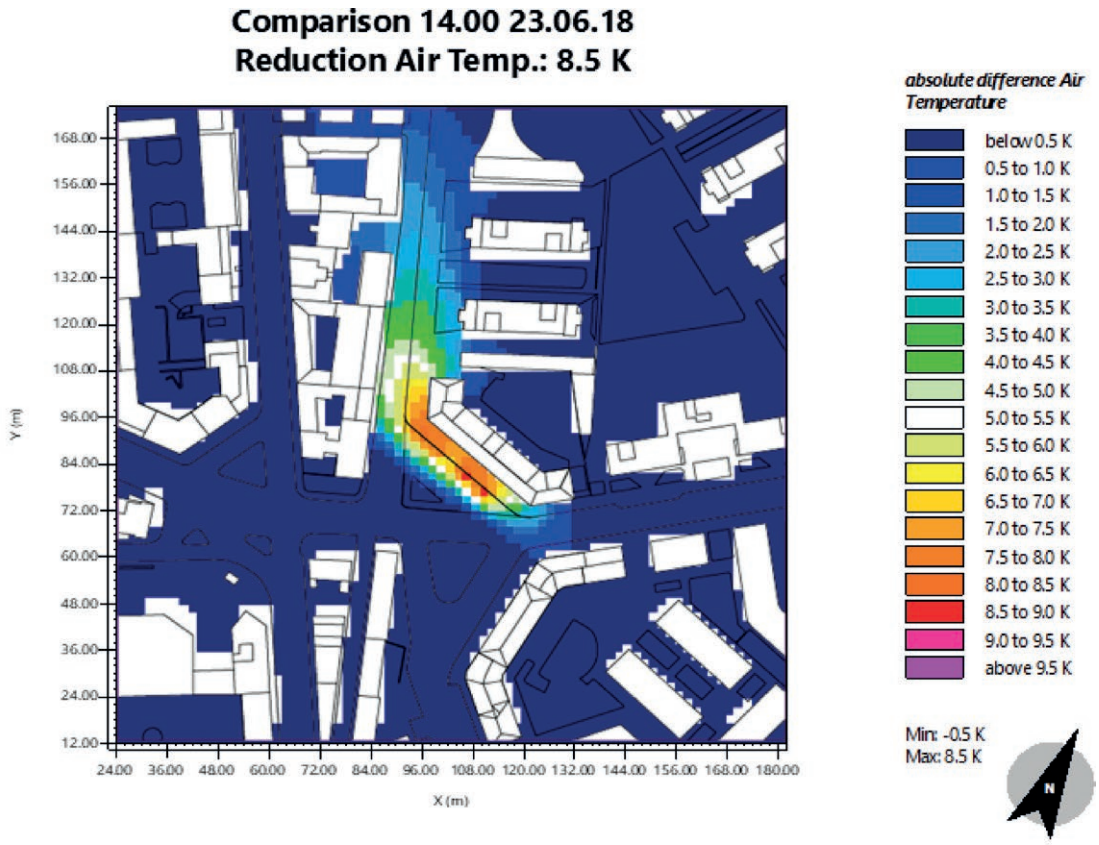
06 |

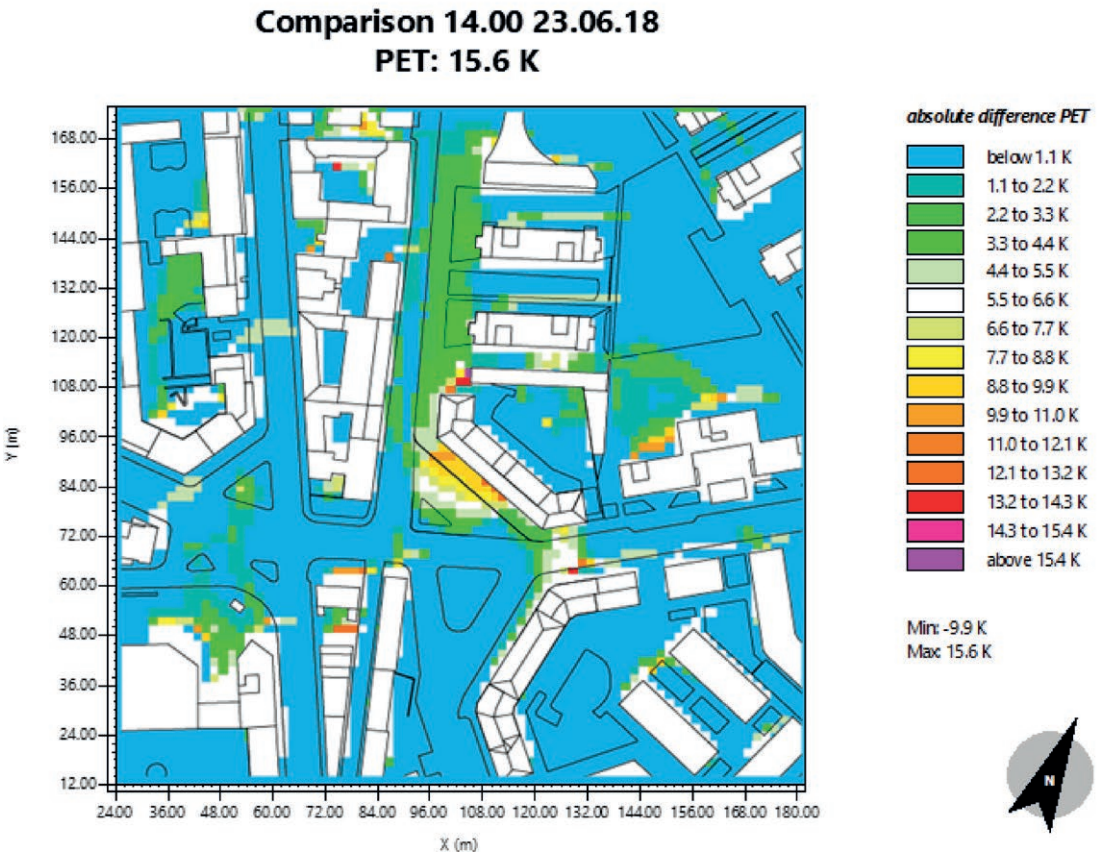
Program "Piazze Aperte", City of Milan, Agenzia Mobilità Ambiente Territorio (AMAT), Bloomberg Associates, and Global Designing Cities Initiative. Presentation 12.11.2018

City of Milan, Agenzia Mobilità Ambiente Territorio (AMAT), in collaboration with Bloomberg Associates and the Global Designing Cities Initiative.

07 | Risultati della simulazione per Piazza Angilberto, che illustrano le riduzioni della temperatura dell'aria dalle strategie blu e verdi proposte, e confronto dei valori di PET (temperatura fisiologica equivalente) prima e dopo gli interventi, simulati con il software ENVI-met V5

Simulation results for Angilberto Square, illustrating air temperature reductions from proposed blue and green strategies and comparison of PET (Physiological Equivalent Temperature) before and after interventions, modelled using ENVI-met V5 simulations





NOTE

[1] La ricerca H2020- MSCA- ITN EID SOLOCLIM prevede l'attivazione di dottorato industriali (EID) e si inserisce nel programma ITN (Innovative Training Networks), parte delle attività MSCA (Marie Sklodowska-Curie Actions). www.soloclim.eu. La parte riportata nel paper è anche il tema sviluppato nella tesi di dottorato del primo autore del paper.

[2] VITO è un'organizzazione di ricerca fiamminga con sede in Belgio, specializzata nella traduzione delle conoscenze scientifiche in soluzioni tecniche.

[3] ArcGIS Pro è una piattaforma geospaziale sviluppata da ESRI, che integra dati attraverso il contesto geografico.

REFERENCES

Cremonini, L. et al. (2023), "Tools for urban climate adaptation plans: A case study on Bologna and outcomes for heat wave impact reduction," *Challenges*, Vol. 14, n. 4, article 48. Available at: https://dx.doi.org/10.3390/challe14040048 (Accessed on 22/11/2024).

Coffin, A.M. and Morrall, J., (1995), "Walking speeds of elderly pedestrians at crosswalks", *Transportation Research Record*, Vol. 1487, pp. 63-67. Available at: http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1487/1487-010.pdf (Accessed on 21/05/2023).

De Ridder, K., Lauwaet, D. and Maiheu, B. (2015), "UrbClim – A fast urban boundary layer climate model," *Urban climate*, Vol. 12, pp. 21–48. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.01.001 (Accessed on 22/11/2024).

European Environment Agency – EEA (2020), *Report No 12/2020: Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. Available at: https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe (Accessed on 13/02/2021).

Gobster, P. H. (2001), "Neighbourhood – Open Space Relationships in Metropolitan Planning: A look across four scales of concern," *Local environment*, Vol. 6, n. 2, pp. 199–212. Available at: http://dx.doi.org/10.1080/13549830120052827 (Accessed on 22/11/2024).

Höppe, P. (1999), "The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment," *International Journal of Biometeorology*, Vol. 43, n. 2, pp. 71–75. Available at: https://dx.doi.org/10.1007/s004840050118 (Accessed on 22/11/2024).

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2018), *Summary for Policymakers*. In: *Global Warming of 1.5°C*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, pp. 1-32. Available at: https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/ (Accessed on 20/01/2021).

Klok, L. et al. (2021), "Application and performance of Kestrel sensors for assessing thermal comfort in outdoor built environments". *EGU General Assembly 2021, online, April 19–30, 2021, EGU21-13237*. Available at: https://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13237 (Accessed on 09/12/2022).

Kluck, J. et al (2020), Report: *De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte* (in Dutch) [The heat-resistant city: A cool look at the design of the outdoor space]. Amsterdam University of Applied Sciences. Available at: https://edepot.wur.nl/522616 (Accessed on 23/10/2022).

Koopmans, S. et al. (2020), Report: *Validatierapport Landelijke hittekaart* (in Ducth) [National Heat Map Validation Report]. Wageningen University, Meteorology and Air Quality Section, pp. 1–26. Available at: https://www.klimaateffectatlas.nl/l/nl/library/download/urn:uuid:c13d0006-131b-4d90-8f2be1c6834d2d6d/validatierapport+landelijke+hittekaart_wur_wb_9juli2020.pdf? (Accessed on 09/12/2022).

Martiello, M.A. et al (2008), "Effetti sulla salute delle ondate di calore" (in Italian) [Health effects of heat waves]. *Igiene e sanita pubblica*, Vol. 64, n. 6, pp. 735–772. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19219085/ (Accessed on 09/12/2023).

Nuijten, D., (2008). "Verplichte vergroening? Onderzoek naar de toepassing van het richtgetal van 75 m2 groen per woning uit de Nota Ruimte en de relatie met de kwaliteit van het groen in de stad" (in Dutch) [Mandatory greening? Research into the application of the guideline figure of 75 m^2 of green space per home from the Spatial Planning Policy Document and the relationship with the quality of greenery in the city]. *Masterproef Sociaal-Ruimtelijke Analyse [Master's thesis Social-Spatial Analysis]*, Wageningen University, pp. 1–117. Available at: https://edepot.wur.nl/117429 (Accessed on 12/03/2024).

Pascal, M. et al. (2021) "Greening is a promising but likely insufficient adaptation strategy to limit the health impacts of extreme heat," *Environment International*, Vol. 151, article 106441. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106441 (Accessed on 22/11/2024).

Pereira Guimarães, M., Dessì, V. (2022), "A Multi-functional Design Approach to Deal with New Urban Challenges". In *Sustainability in Energy and Buildings 2021*. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 263. Springer, Singapore. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_33 (Acessed on 22/11/2024)

Pasqui, G. (2022) "Inequalities: Peripheries," in *Coping with the Pandemic in Fragile Cities*. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. Cham: Springer International Publishing, pp. 45–54. Available at: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-93979-3_5 (Accessed on 22/11/2024).

Ulpiani, G., di Perna, C. and Zinzi, M. (2019) "Water nebulization to counteract urban overheating: Development and experimental test of a smart logic to maximize energy efficiency and outdoor environmental quality," *Applied Energy*, Vol. 239, pp. 1091–1113. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.231 (Accessed on 22/11/2024).

Xue, F. et al. (2015) "Modeling the influence of fountain on urban microclimate," Building Simulation, Vol. 8, n. 3, pp. 285–295. Available at: https://dx.doi.org/10.1007/s12273-014-0210-7 (Accessed on 22/11/2024).

World Health Organization (2016). Report: *Urban green spaces and health*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Document number: WHO/EURO:2016-3352-43111-60341. Available at: https://iris.who.int/handle/10665/345751(Accessed on 22/05/2020).

Zinzi, M. et al. (2020) "On the thermal response of buildings under the synergic effect of heat waves and urban heat island," *Solar Energy*, Vol. 211, pp. 1270–1282. Available at: https://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.050 (Accessed on 22/11/2024).

Ottimizzare l'adattamento al cambiamento climatico nei *canyon* urbani con *data reasoning*

Francesca Mosca, https://orcid.org/0000-0001-8898-8727 francesca.mosca@edu.unige.it
Gabriele Oneto, https://orcid.org/0000-0003-3621-1179 gabriele.oneto@edu.unige.it
Martina Guasco, https://orcid.org/0009-0002-3104-3284 martina.guasco@edu.unige.it
Katia Perini, https://orcid.org/0000-0003-0415-8246 katia.perini@unige.it
Dipartimento di Architettura e Design, Università degli Studi di Genova, Italia

Abstract. Questo articolo mira alla definizione di una metodologia ed un approccio operativo per ottimizzare la posizione, la forma e la dimensione di alberi (o altre *Nature-based Solutions*, NbS) nella morfologia urbana per ridurre localmente il fenomeno isola di calore (UHI) e identificare alcune correlazioni tra configurazioni urbane e prestazioni delle NbS. Tale obiettivo si pone nell'ottica di superare le limitazioni attuali che vedono la mancanza di un approccio sistematico per massimizzare le prestazioni delle NbS per la riduzione locale dell'UHI. Sulla base del modello teorico di *canyon* urbano, l'approccio teorico e computazionale proposto prevede la definizione dei principali indicatori di prestazione ed il relativo calcolo per implementare una ottimizzazione multi-obiettivo.

Parole chiave: Isola di calore; *Nature-based solutions*; Ottimizzazione multi-obiettivo; Indicatori chiave di prestazione; Adattamento al cambiamento climatico.

Introduzione

Le emissioni di gas serra legate alle attività antropiche sono tra i principali motori del cambiamento climatico, come confermato dal report scientifico dell'IPCC (IPCC, 2021). L'aumento esponenziale dei conseguenti effetti sull'ambiente pone la necessità di intraprendere simultaneamente strategie di mitigazione ed adattamento (Kundzewick and Matczak, 2012), intervenendo primariamente in termini di decarbonizzazione, ma anche di aumento della resilienza di ambienti urbani e rurali (Marrone and Orsini, 2018). Conseguentemente ai fenomeni di espansione e cementificazione urbana, come segnalato dal Competence Centre on Foresight (2020), il fenomeno dell'isola di calore (UHI) risulta essere un comune denominatore nelle problematiche di surriscaldamento urbano. Le cause dell'UHI sono attribuibili a fattori antropici, morfologici e climatici, tra i quali si menzionano: emissioni di gas serra, alta densità costruttiva, aumento di superfici cementificate e impermeabili, caratterizzate da bassi livelli di albedo, ridotta presenza di aree verdi e superfici permeabili, lontananza da corsi d'acqua, ed aree costiere e scarsa ventilazione per posizione geografica o conformazione urbana. L'UHI è inoltre responsabile di elevata richiesta energetica per raffrescamento degli edifici e per tale motivo relative strategie di mitigazione sono rilevanti in un'ottica di decarbonizzazione (Boudali Errebai *et al*., 2022).

Il fenomeno UHI si verifica all'interno dell'*Urban Boundary Layer* (UBL) delle città, stratificandosi in due livelli: il primo più prossimo alla superficie – *Surface Urban Heat Island* (SUHI), il secondo compreso tra la superficie calpestabile e l'altezza finita degli edifici – *Canopy Urban Heat Island* (CUHI). Per definizione, all'interno dei rispettivi livelli SUHI e CUHI, si riscontra un significativo aumento delle temperature superficiali (LST) rispetto ai medesimi valori rilevabili in aree rurali. Tra le linee guida europee ed i conseguenti piani di resilienza climatica, l'implementazione di superfici verdi e permeabili, rappresenta uno strumento efficace al contrasto dell'aumento della temperatura superficiale.

Le *Nature-based Solutions* (NbS), definite dalla Commissione Europea "Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience" (European Commission, 2022), e in particolare gli spazi verdi urbani, possono contribuire alla riduzione delle emissioni gra-

Data reasoning to shape tree patches: optimising climate change adaptation in urban canyons

Abstract. This paper aims to define a methodological framework and an operational approach for optimising the location, shape, and size of trees (or other NbS) within the surrounding urban morphology to locally reduce the urban heat island (UHI) effect and identify correlations between urban configurations and NbS performance. The goal is to overcome current limitations, which include the lack of a systematic approach to maximising NbS performance in locally mitigating UHI. Based on the model of the urban canyon, the proposed theoretical and computational approach includes the definition of key performance indicators and their calculation to implement a multi-objective optimisation.

Keywords: Urban heat island; Nature-based solutions; Multi-objective optimisation; Key performance indicators; Climate adaptation.

Introduction

Greenhouse gas emissions produced by human activities are among the primary drivers of climate change, as confirmed by the IPCC scientific report (IPCC, 2021). The exponential increase in the related effects on the environment necessitates the simultaneous adoption of mitigation and adaptation strategies (Kundzewick and Matczak, 2012), focusing primarily on decarbonisation, but also on enhancing the resilience of urban and rural environments (Marrone and Orsini, 2018).

As a result of urban expansion, as noted by the Competence Centre on Foresight in 2020, the urban heat island (UHI) effect has become a common denominator in urban overheating issues. The causes of UHI can be attributed to anthropogenic, morphological, and climatic factors, including greenhouse gas emissions, high building density, an increase in paved and impermeable surfaces featuring low albedo levels, reduced presence of green spaces and permeable surfaces, distance from water bodies and coastal areas, and poor ventilation due to geographic location or urban configuration. The UHI is responsible for higher cooling demands, therefore UHI mitigation strategies are relevant when speaking about decarbonisation (Errebai *et al*., 2022).

The UHI phenomenon occurs within the Urban Boundary Layer (UBL) of cities, stratifying into two levels: the first is closest to the surface – Surface Urban Heat Island (SUHI), and the second is between the walkable surface and the finished height of the buildings – Canopy Urban Heat Island (CUHI). Within the respective SUHI and CUHI levels, there is a significant in-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16560

zie allo stoccaggio di carbonio ("Nature-based solutions can pave the way to carbon-neutral cities in 2030"). Attraverso la capacità di raffrescamento della vegetazione, gli spazi verdi al suolo svolgono una importante azione di regolazione microclimatica, contribuendo alla mitigazione del fenomeno isola di calore (Marando *et al*., 2022). Diversi studi mostrano che la disposizione di alberi e arbusti, in relazione allo spazio costruito, permette di massimizzare le prestazioni, ombreggiando (e quindi riducendo le temperature superficiali) superfici asfaltate e costruite (Perini *et al*., 2018).

Un concetto ampiamente utilizzato in letteratura per studi sulle prestazioni degli agglomerati urbani in relazione a diverse problematiche ambientali è il *canyon* urbano: un modello concettuale nel quale le geometrie della città sono semplificate e modellate in funzione della dimensione degli edifici (altezza, profondità) e della loro distanza (Salvati *et al*., 2020). L'utilizzo di questo tipo di modelli è particolarmente indicato per approfondire la relazione tra caratteristiche geometriche delle aree urbane e le relative condizioni microclimatiche, che possono influenzare il comfort termico, ma anche le prestazioni energetiche degli edifici, così come la concentrazione di polveri sottili (Kim and Brown, 2023).

Affermato questo, il corretto inserimento delle soluzioni verdi di mitigazione e adattamento deve essere funzionale per la piena riuscita progettuale (Augusto *et al*., 2020). Le principali criticità che si riscontrano negli interventi di rinverdimento urbano derivano dalla mancata, o insufficiente, attenzione pianificatrice a diverse scale. Per primo, le prestazioni effettive della NbS dipendono non solo da sfide di compatibilità ingegneristica (sistemi di irrigazione, ombreggiamento, contenimento), ma anche ecologica (compatibilità di specie al clima locale, contaminazione con semi aerei, foraggiamento e nidificazione di specie animali) (Knapp and MacIvor, 2023). Secondariamente, la considerazione che l'efficacia a scala urbana delle NbS si può ottenere attraverso interventi localmente specifici. Per esempio, in funzione delle caratteristiche e necessità del sito, anche soluzioni a scala più ridotta possono essere comunque performanti a livello urbano, permettendo di agire in maniera efficace anche in aree molto densamente costruite, con ridotta disponibilità di spazi (Salvati *et al*., 2020).

Se la caratterizzazione del sito può essere dedotta con criteri tradizionali come le *Local Climate Zones* (Fernandes *et al*., 2023), la semplificazione che deriva può impedire un calcolo accurato delle prestazioni delle NbS, data dalla mancanza di dati geometrici e climatici. Per superare quindi le criticità, è necessario innanzitutto costruire un abaco di soluzioni a verde, e successivamente, valutarne gli effetti sulla morfologia urbana attraverso modelli che riescono maggiormente a rappresentare la complessità locale (Salvati *et al*., 2020). Sulla base del contesto nel quale questa ricerca si colloca, gli obiettivi della ricerca qui presentata sono (1) definire una metodologia per ottimizzare la progettazione delle NbS per migliorare la qualità e l'adattamento rispetto l'isola di calore in ottica di decarbonizzazione, attraverso la creazione di un catalogo di diverse combinazioni di NbS per un determinato sito, e (2) testare la metodologia definita attraverso l'applicazione su un caso di *canyon* urbano esistente.

Metodologia

La ricerca definisce una metodologia per ottimizzare la posizione delle NbS in diverse configurazioni di *canyon* urbani per

crease in surface temperatures (Land Surface Temperature, LST) compared to the same values found in rural areas. According to European guidelines and subsequent climate resilience plans, the implementation of green and permeable surfaces is an effective tool in combatting the increase in surface temperatures (LST).

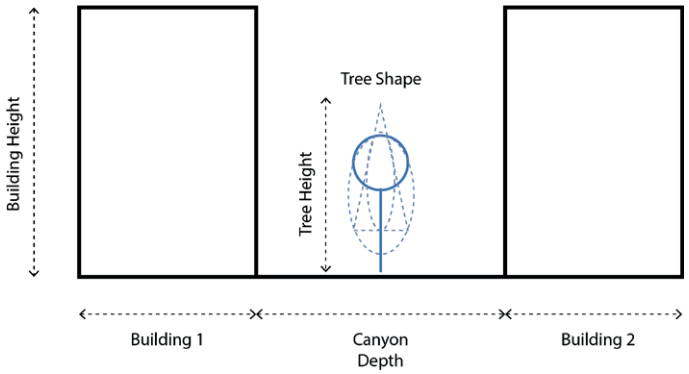
Nature-based Solutions (NbS), defined by the European Commission as "Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social, and economic benefits and help build resilience", especially urban green spaces, can contribute to reducing emissions through carbon sequestration. Through the cooling capacity of vegetation, ground-level green spaces play an important role in microclimate regulation, helping to mitigate the urban heat island effect. Various studies show that the arrangement of trees and shrubs in relation to built areas can maximise performance by shading (and thus reducing surface temperatures on) paved and constructed surfaces.

A widely used concept in the literature for studying the environmental performance of urban areas is the urban canyon, a conceptual model in which city geometries are simplified and modelled based on building dimensions (height, depth) and their spacing (Salvati *et al*., 2020). The use of such models is particularly suitable for exploring the relationship between the geometric characteristics of urban areas and their microclimatic conditions, which can affect thermal comfort, as well as the energy performance of buildings and the concentration of fine particulate matter (Woong Kim and Brown, 2023).

The proper integration of nature-based mitigation and adaptation solutions is crucial for successful design outcomes (Augusto *et al*., 2020). The main challenges encountered in urban greening interventions stem from insufficient planning attention across different scales. Firstly, the actual performance of NbS depends not only on engineering compatibility challenges (such as irrigation systems, shading, containment) but also on ecological factors (such as the compatibility of species with the local climate, contamination with airborne seeds, and foraging and nesting of animal species) (Knapp and MacIvor, 2023). Secondly, it must be considered that these interventions have an impact on an urban scale. Indeed, non-standardised schemes can be used for operations addressing overheating issues. Depending on the site's characteristics and needs, even smaller-scale solutions can be effective, allowing for impactful action even in densely built-up areas with limited space availability.

While site characterisation can be derived from traditional criteria such as Local Climate Zones (Fernandes *et al*., 2023), the resulting simplification may prevent an accurate calculation of NbS performance due to lack of geometric and climatic data. To overcome the critical issues, it is necessary to first build an abacus of green solutions and, then, to evaluate its effects on urban morphology through models that better represent local complexity (Salvati *et al*., 2020). Based on the context described herein, the objectives of the research presented are (1) to define a methodology for optimising the design of Nature-based Solutions (NbS) in view of adaptation to the urban heat island effect and achieving decarboni-

01 | Definizione grafica dei parametri del canyon urbano oggetto di studio
Graphical representation of urban canyon features identified for the study



massimizzare le loro prestazioni in termini di regolazione microclimatica. Tale metodologia può essere utilizzata come strumento per guidare la pianificazione e progettazione di aree urbane in un'ottica di miglioramento delle capacità locali di adattamento al cambiamento climatico. In particolare, la metodologia si basa innanzitutto sulla definizione dei parametri per la modellazione del contesto urbano. Il concetto di *urban canyon* (Nunez and Oke, 1976), ampiamente utilizzato in ambito scientifico per studi sul microclima esterno, si fonda sulla semplificazione geometrica di configurazioni urbane, in funzione dell'altezza degli edifici e della distanza tra di essi. In aggiunta a tali parametri fondamentali, in questo studio è stata posta particolare attenzione alle caratteristiche geometriche delle NbS (specificatamente, degli alberi). Riguardo alla forma dell'albero, la chioma sferica è stata selezionata come esempio generale (Pelletier, Landry and Girouard, 2016), per il quale l'altezza dell'albero, il diametro del tronco e diametro della chioma sono stati definiti (Fig. 1). Riguardo questo aspetto, i modelli formali per le NbS sono stati definiti per poter simulare possibili variazioni di forma teoriche, che possono descrivere eventuali mutamenti temporali e/o dovute a cambiamenti nelle condizioni ambientali di riferimento.
Successivamente, la definizione dei range delle condizioni al contorno permette di definire i limiti dello studio. Tali condizioni, geografiche, climatiche e morfologiche, sono considerate in relazione alle condizioni urbane tipiche della penisola italiana, selezionata come area di riferimento (Tab. 1). Sebbene diverse tipologie di NbS possano essere considerate per il miglioramento delle condizioni microclimatiche di un *canyon* urbano, come arbusti, superfici orizzontali e verticali inverdite, questo studio si concentra sulle prestazioni degli alberi, in quanto costituiscono una delle soluzioni più performanti in relazione a diversi aspetti (contributo d'ombra, stoccaggio di carbonio, captazione polveri sottili).
Dal punto di vista operativo, il *canyon* urbano e le relative NbS sono modellate parametricamente all'interno dell'ambiente McNeel Rhinoceros 3D, attraverso l'utilizzo dei plug-in Grasshopper e Ladybug per l'analisi microclimatica (www.ladybug.tools). Data una superficie di 100mx100m, considerata area d'interesse, il *canyon* è modellato stabilendo range di valori (definiti nella fase precedente) per altezza degli edifici del *canyon*, e distanza tra i due edifici. All'interno dell'area effettiva di *canyon*, definita come superficie tra i due edifici come una griglia 1x1m, diverse tipologie di NbS possono essere disposte (filare singolo, filare doppio, gruppo di alberi). L'utilizzo di un approccio parametrico permette di variare in tempo reale le condizioni di *canyon* e poter individuare per ogni configurazione le relative soluzioni più performanti.
In relazione al processo di ottimizzazione, si seleziona un gruppo di cinque obiettivi secondo cui ottimizzare la NbS, in relazione agli obiettivi dello studio, usando indicatori di prestazione (KPI) ricorrenti in letteratura precedentemente individuati (Mosca *et al.*, 2023) (Tab. 2). Il processo definito permette di ottimizzare, per un dato *canyon* urbano, la progettazione della

sation by creating a catalogue of various NbS combinations for a specific site, and (2) to test the defined methodology by applying it to an existing urban canyon, used as a case study.

Methodology
The research defines a methodology to optimise the placement of NbS across different urban canyon configurations in order to maximise their performance in terms of microclimatic regulation. This methodology can serve as a tool to guide urban planning and design with a view toward enhancing local adaptation capabilities to climate change. Specifically, the methodology begins with defining parameters for modelling the urban context. The concept of the urban canyon (Nunez and Oke, 1976), widely used in scientific studies on microclimates, is based on the geometric simplification of urban configurations in terms of building height and the distance between them. In addition to these core parameters, this study pays particular attention to the geometric characteristics of NbS (specifically, trees). Regarding tree shape, a spherical canopy was selected as a general example (Pelletier, Landry, and Girouard, 2016), for which tree height, trunk diameter, and canopy diameter were defined (Fig. 1). Concerning this aspect, formal models for NbS were developed to simulate possible theoretical shape variations that could describe potential temporal changes and/or variations due to changes in environmental conditions.
Subsequently, defining the range of boundary conditions is essential to establish the study's limits. These geographic, climatic, and morphological conditions are considered in relation to typical urban conditions of the Italian peninsula, selected as the reference area (Tab. 1). Although various types of NbS can be considered for improving microclimatic conditions in an urban canyon – such as shrubs, horizontal and vertical greening surfaces – this study focuses on tree performance, as trees are one of the most effective solutions for several aspects (shade provided, carbon storage, fine particulate capture).
From an operational perspective, the urban canyon and associated NbS are parametrically modelled within the McNeel Rhinoceros 3D environment, using Grasshopper and Ladybug plugins for microclimatic analysis (www.ladybug.tools). For an area of 100m x 100m designated as the area of interest, the canyon is modelled by establishing value ranges (defined in the previous phase) for canyon building height and distance between the two buildings. Various types of NbS (single row, double row, group of trees) can be arranged within the effective canyon area, defined as the surface between the two buildings and characterised by a 1x1m grid. A parametric approach allows real-time variations in canyon conditions, enabling the identification of the most effective solutions for each configuration.
In terms of the optimisation process, a set of five objectives is selected to make the most of the NbS, in line with the study's objectives, using recurring KPIs previously identified from the literature (Mosca *et al.*, 2023) (Tab. 2). The defined process allows for the optimisation of NbS design in a given urban canyon to locally maximise microclimate regulation, enhancing the percentage of shaded (mean radiant temperature reduction) area while minimising the final biomass value (m^3), which can be considered

Tab. 01 | Elementi definitori del canyon urbano con NbS e relativi range
Urban canyon and NbS features and relative thresholds

Tab. 02 | KPI per ottimizzazione multicriteria della NbS attraverso la riduzione della temperatura locale e minimizzazione delle piante introdotte
KPIs for NbS multi-criteria optimisation through the reduction of local temperature and minimisation of plants introduced

Tab. 01 |

Parametri	Soglie
Altezza degli edifici	Min: 10 metri
	Max: in funzione delle Local Climate Zones di Oke
Distanza tra I due edifici del canyon	Min: 10 metri (da normativa italiana),
	Max: Altezza massima degli edifici.
Tipologia di piante (NbS)	Alberi,
	Arbusti,
	Superficie vegetata orizzontale,
	Superficie vegetata verticale (NbS handbook, 2021).
Geometria dell'albero	Chioma sferica, colonnare, conica, ed ovale (Pelletier, Landry and Girouard, 2016)
Altezza dell'albero	I ordine < 10 meters
	II ordine: 10-16 meters
	III ordine > 16 meters
	(coerente con normative regionali)

Tab. 02 |

Key Performance Indicator (KPI)	Metodologia	Criterio di ottimizzazione
Temperatura media radiante (MRT)	La MRT è ottenuta attraverso il plugin Ladybug, con un *EnergyPlusWeather* (.epw) del caso studio.	Min
Superficie a terra ombreggiata (%)	Il rapporto è ottenuto tra la somma delle aree ombreggiate (da NbS ed edifici) e la superficie totale libera a terra.	Max
Superficie su edifici ombreggiata (%)	Rapporto tra la somma delle aree proiettate delle massime circonferenze delle NbS e la superficie degli involucri degli edifici nel canyon.	Max
Volume totale NbS (m3)	La NbS (albero) è schematizzata con un tronco cilindrico e una chioma poligonale. Il volume totale della NbS può essere utilizzato come dato per calcolarne la biomassa, data una certa densità, e la relativa capacità di stoccaggio di carbonio.	Min
Superficie coperta da verde (%)	La superficie è ottenuta come rapporto tra la somma delle massime circonferenze orizzontale delle NbS e la superficie totale.	Max

NbS in modo da massimizzare localmente la regolazione microclimatica, aumentando la percentuale di superficie ombreggiata (% *of shaded area*) e relativa riduzione di temperatura media radiante, ma minimizzando il valore finale di biomassa (m^3), che può essere considerato in relazione alla gestione della manutenzione dell'NbS (Biocca *et al*., 2022).

in terms of NbS maintenance management (Biocca *et al*., 2022).
Following the definition of goals and corresponding indicators, the optimisation was carried out using the Wallacei plug-in, which integrates an evolutionary solver algorithm for multi-objective optimisation of design solutions (Makki *et al*., 2019). This approach enables the collection of solutions associated with Pareto fronts for the various possible configurations. Optimisation data can also be used to quantify other ecosystem services, such as the carbon storage capacity of the designed NbS, which can be calculated in terms of total volume and related biomass (Muralikrishna, 2014).
Finally, this methodology is tested and applied to a case study within the municipality of Genoa, one of the sites involved in the research project. Specifically, the Cornigliano area in Genoa was selected for its particular vulnerability in urban heat island intensity (Morabito *et al*., 2015; Mosca *et al*., 2021) and associated risks for residents. A representative urban canyon of the area was identified and modelled (without defining the materials), considering the main characteristics of the site (road layout, existing vegetation, building height, and distance between buildings). The site (44.415786, 8.870539), located on Via Cornigliano (Genoa, Italy), features a two-way traffic street, two pedestrian paths flanking the roadway with varying widths, and two parking areas adjacent to the buildings forming the canyon (Fig. 2).

Results and discussion
The results show the performance variation of the simulated NbS for the selected urban canyon case study. The collection of performance data for various NbS serves as a starting point for assessing the introduction of NbS into the built environment without relying on ad-hoc modelling and simulation tools, clearly demonstrating potential benefits for well-being across different conditions.
Specifically, the analysed canyon model is used to calculate multi-objective optimisation in relation to the goals and indicators defined in the Methodology section. Figure 3 illustrates the overall workflow of the computational approach employed. Optimisation was set up by using NbS dimensions as variable inputs, including trunk radius, tree height, and canopy radius (Scudo and Ochoa de la Torre, 2003), along with the NbS position within the canyon area where new vegetation can be introduced.
The optimisation cycle was structured by accounting for the collinearity of selected indicators, deliberately reducing cycle complexity without impairing result accuracy. Four hundred solutions were modelled in ten iterations of forty each over more than sixteen hours of runtime, converging on the optimal solution by the ninth generation.
The five indicators reveal three distinct behaviours (Fig. 4). F01 (maximising shading on buildings) is the simplest and quickly converges toward its absolute minimum of 50%. Indicators F03 (maximising green cover) and F04 (minimising green volume) fluctuate significantly between two maximum extremes of 0-100% and 40-250 square metres, respectively. F02 (minimising mean radiant temperature) and F05 (maximising shaded ground surface) also vary, though less sharply, between their extremes, limited by a reduced background scale difference: 49-51°C and 15-25 square metres (Fig. 5).

Conseguentemente alla definizione degli obiettivi e relativi indicatori, l'ottimizzazione è stata impostata attraverso l'utilizzo del plugin Wallacei, che integra un algoritmo risolutore evolutivo per l'ottimizzazione multi-obiettivo di soluzioni progettuali (Makki *et al*., 2019). Tale approccio permette di raccogliere soluzioni riferite ai fronti di Pareto delle diverse configurazioni possibili. I dati relativi all'ottimizzazione possono essere utilizzati per quantificare anche altri servizi ecosistemici, come la capacità di stoccaggio di carbonio della NbS progettata, che può essere calcolato in funzione del volume totale, e della relativa biomassa (Muralikrishna, 2014).
Infine, tale metodologia viene testata ed applicata ad un caso studio, identificato all'interno del territorio comunale di Genova, in quanto uno dei siti oggetto del progetto di ricerca. In particolare, l'area di Genova Cornigliano è stata selezionata per la sua particolare criticità in termini di intensità dell'isola di calore (Morabito *et al*., 2015; Mosca *et al*., 2021) e relativi rischi per i cittadini. Un *canyon* urbano rappresentativo dell'area è stato identificato e modellato (senza definizione di materiali), considerando le caratteristiche principali del sito (viabilità, vegetazione esistente, altezza e distanza edifici). Il sito (44.415786, 8.870539), in Via Cornigliano (Genova, Italia), è caratterizzato dalla presenza di una strada veicolare a doppio senso di marcia, due percorsi pedonali a lato delle carreggiate, di dimensioni differenti, e due aree di parcheggio limitrofe agli edifici che costituiscono il *canyon* (Fig. 2).

Risultati e discussione

I risultati mostrano la variazione delle prestazioni delle NbS simulate per il *canyon* urbano selezionato come caso studio. La raccolta dei dati relativi alle prestazioni di diverse NbS costituisce un punto di partenza per valutare, senza l'utilizzo di strumenti di modellazione e simulazione per analisi ad-hoc, l'introduzione delle NbS nell'ambiente costruito, esprimendo chiaramente il potenziale beneficio per il benessere in diverse condizioni.
In particolare: il modello del *canyon* oggetto di analisi è utilizzato per calcolare l'ottimizzazione multi-obiettivo in relazione agli obiettivi ed indicatori definiti nella sezione Metodologia. Fig. 3 mostra il workflow complessivo dell'approccio computazionale impostato.
L'ottimizzazione è stata impostata considerando come input variabili le dimensioni della NbS, quindi raggio del tronco, altezza dell'albero e raggio della chioma (Scudo and Ochoa de la Torre, 2003), e la sua posizione all'interno dell'area del canyon dove è possibile inserire nuova vegetazione.
Il ciclo di ottimizzazione è stato impostato tenendo conto della collinearità degli indicatori selezionati, riducendo appositamente la complessità del ciclo senza sacrificare precisione dei risultati. Quattrocento soluzioni sono state modellate in dieci iterazioni da quaranta ciascuna per oltre sedici ore di *runtime*, convergendo alla migliore soluzione alla nona generazione.
I cinque indicatori dimostrano tre comportamenti distinti (Fig. 4). F01 (massimizzare l'ombreggiamento sugli edifici) è il più elementare e converge rapidamente verso una il proprio minimo assoluto di 50%. Gli indicatori F03 (massimizzare la copertura verde) e F04 (minimizzare il volume verde) oscillano drasticamente tra due estremi massimi di 0-100% e 40-250 mq rispettivamente. F02 (minimizzare la temperatura media radiante) e F05 (massimizzare la superficie ombreggiata a terra)

The Cornigliano site is primarily characterised by the ease of shading the vertical surfaces of the canyon, ensuring at least a 50% reduction in direct solar radiation, regardless of NbS design variation. This feature is typical of narrow canyons (10-15m wide) but, in this case, the east-west orientation of the street axis leads to a significant increase in shading, though the distance between the buildings (which are 19m (W) and 27m (E) high), is 20m. Optimisation reduces MRT values, lowering ground irradiation temperature by half a degree. Regarding green features, the most effective solution populates the area adjacent to the road with more than 60% green cover, while keeping the total NbS volume under 170 square metres. Additionally, the positioned tree shades 17% of the entire street area (Fig. 5).
Building on the workflow defined in this study, which primarily addresses the urban heat island effect, additional climate adaptation KPIs can be easily integrated to evaluate NbS performance across different aspects, aiming to optimise their functionality for urban resilience. For instance, based on the NbS volume – minimised here to limit maintenance requirements – it is possible to quantify the relative biomass value according to the species considered, and to estimate its carbon storage capacity (Jin *et al*., 2023).

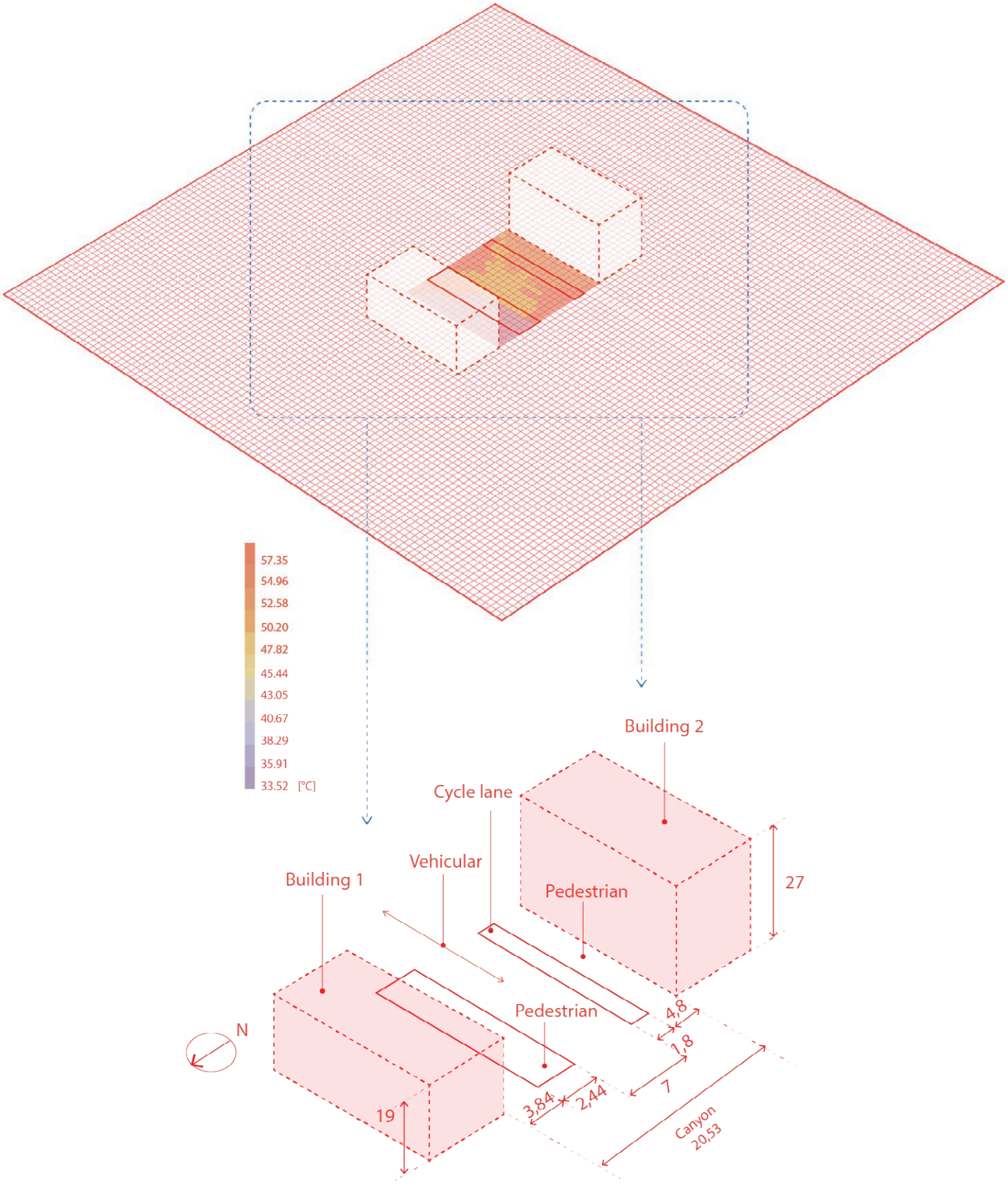
Conclusions and future developments

The presented study defines a methodology for optimising the design of Nature-based Solutions (NbS) with a focus on enhancing environmental quality and adapting to climate change. Specifically, the methodology emphasises the role of trees in mitigating the urban heat island effect to improve well-being in urban environments. The developed methodology is based on dynamic modelling of an urban canyon, which allows for the calculation of site-specific performance for different design configurations. This dynamic modelling will be applied, within the PRIN-PNRR URBAN GENERATION project, to a wide range of urban canyons, to enable designers and public administrations to evaluate the performance of various NbS configurations without the need for ad hoc simulations. These configurations are modelled to represent the main design solutions, and are systematised in a catalogue (database). The study demonstrates, through a focus on a particularly critical area of the city of Genoa, that the methodology can be effectively applied to existing urban canyons.

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT
Conceptualisation: FM, KP; Methodology: FM, KP, GO, MG; First draft: FM; Review and Writing: FM, KP, GO, MG; Graphics: MG, FM. PRIN PNRR 2022 programme – D53D23020090001.

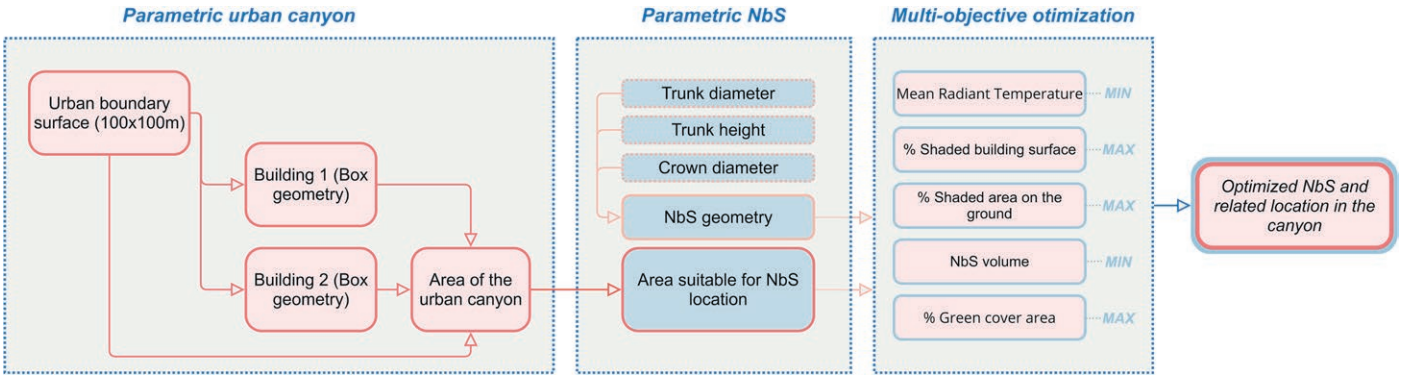
02 | Configurazione del sito utilizzato come caso studio, la sua trasposizione nel canyon urbano oggetto di studio, e le relative caratteristiche
Case study configuration, its definition in a geometrical urban canyon, and relative characteristics

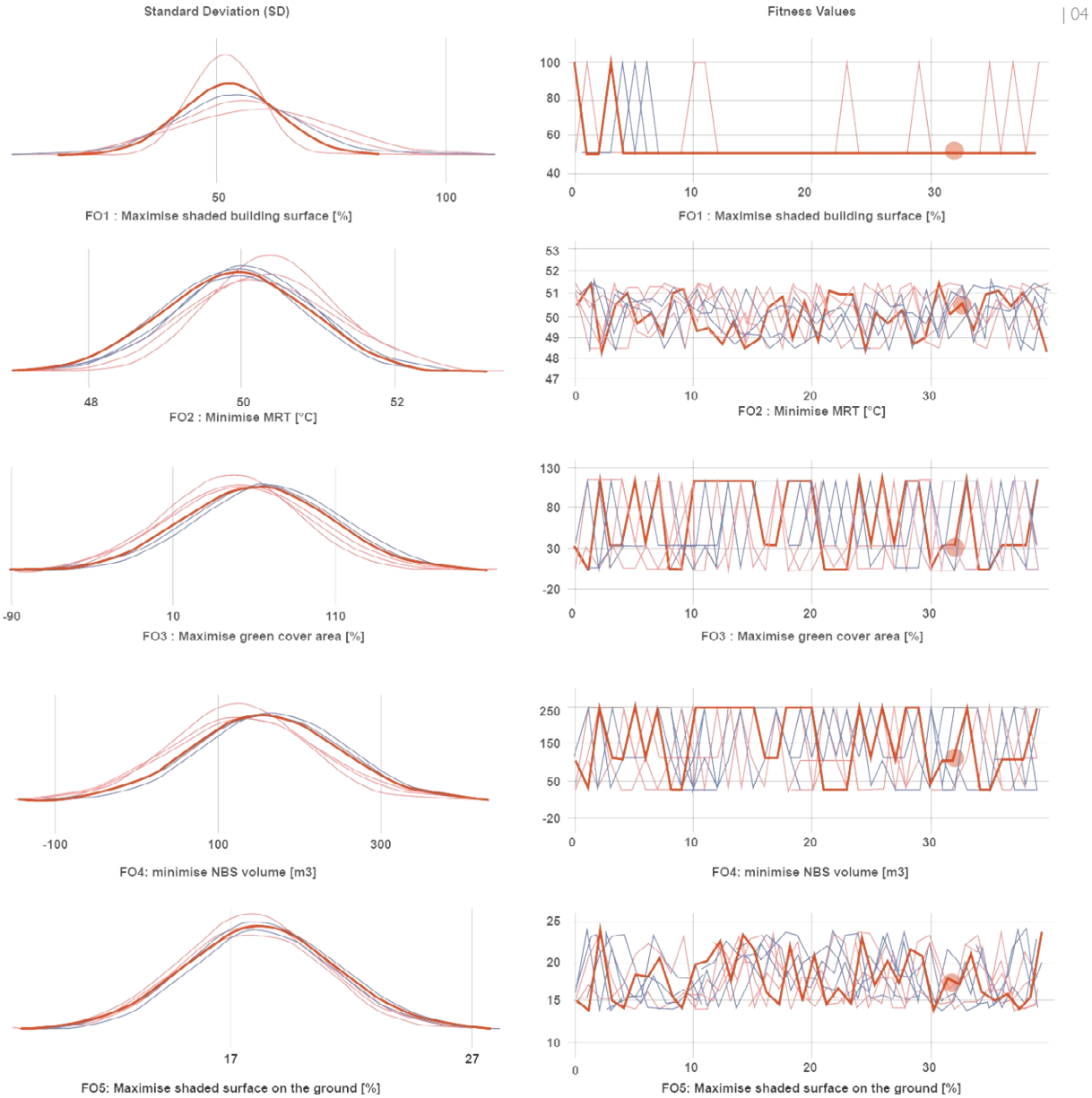
02 |



03 | Schema riassuntivo del workflow computazionale impostato per l'ottimizzazione del caso studio
Summary of the computational workflow setup for the multi-objective optimisation applied to the case study

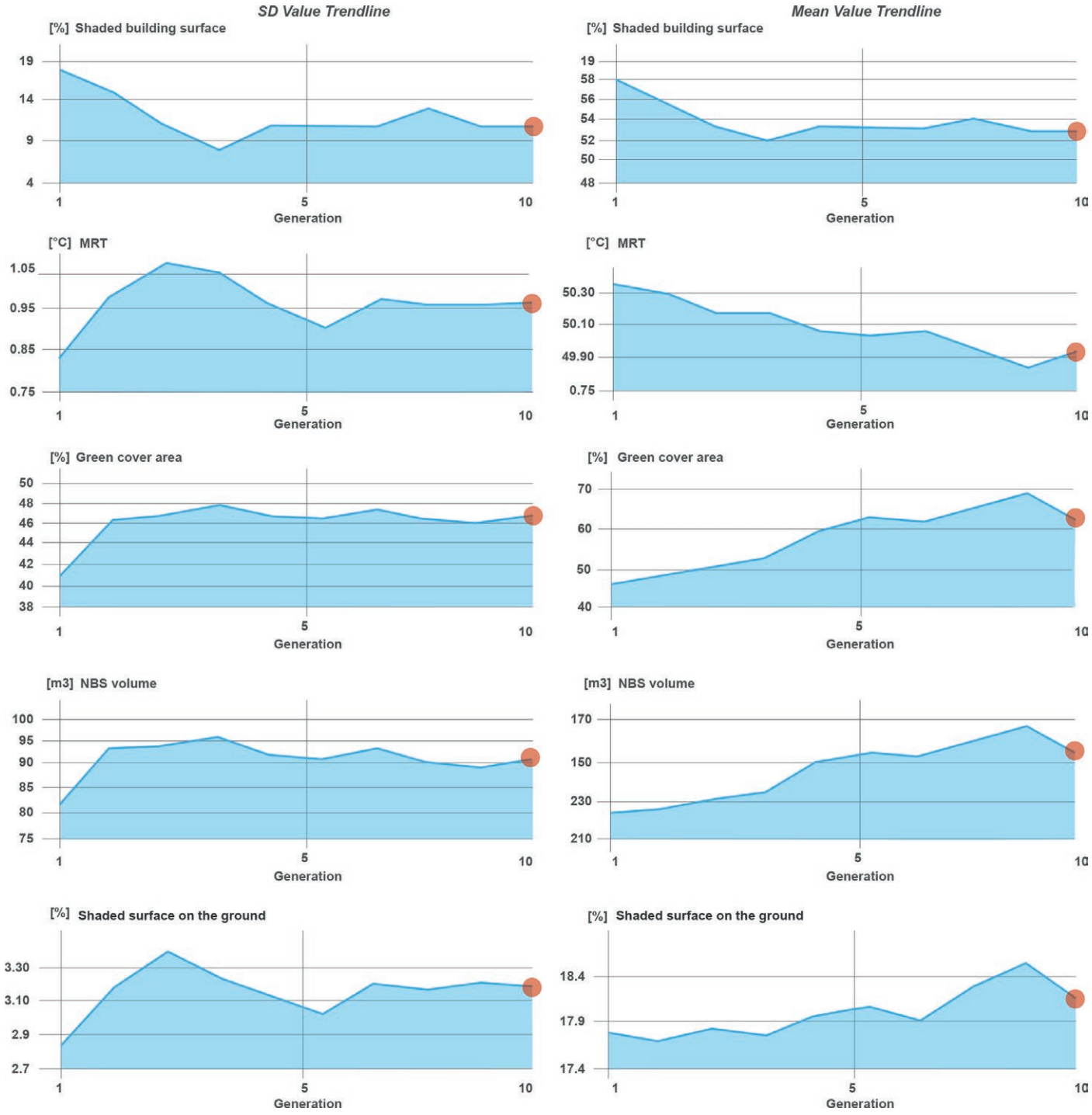
04 | Deviazione standard e *fitness values* per la soluzione ottimizzata (evidenziata dal cerchio rosso)
Standard deviation and fitness values for the optimised solution (highlighted by the red dot)





05 | Andamento dei valori per i cinque indicatori per ottimizzazione durante la generazione, (valori della soluzione ottimizzata evidenziati dal cerchio rosso)
Trend values for the five indicators used for the optimisation process during the generation of solutions (values of the optimised solution are highlighted by the red dot)

05 |



variano anch'essi ma meno incisivamente tra gli estremi, limitati anche da una differenza di fondo scala ridotta: 49-51 (gradi celsius) e 15-25 mq (Fig. 5).
Il sito di Cornigliano si caratterizza prevalentemente per la facilità di ombreggiare le superfici verticali del *canyon*, assicurando una riduzione dell'irraggiamento diretto di almeno la metà indipendentemente dalla variazione del design della NbS. Questo è tipico dei *canyon* di larghezza ridotta (10-15m), ma nel caso in esame la direzione l'asse stradale est-ovest comporta un significativo aumento dell'ombreggiamento, anche se ha una distanza tra edifici, di altezza 19 (ovest) e 27 (est) m, di 20m. L'ottimizzazione riesce ad abbattere i valori di MRT riducendo di mezzo grado la temperatura causata dall'irradiazione a terra. Per quanto riguarda le caratteristiche del verde, la soluzione più performante riesce a popolare l'area di pertinenza a lato del manto stradale per più del 60% della superficie con meno di 170 mq di volume totale di NbS. L'albero così posizionato contribuisce inoltre a ombreggiare il 17% dell'intera strada (Fig. 5).
Partendo dal *workflow* definito per questa ricerca, che si concentra principalmente sulla gestione del fenomeno isola di calore, altri KPI di adattamento al cambiamento climatico possono essere facilmente integrati per valutare le prestazioni delle NbS in relazione a diversi aspetti, aspirando ad ottimizzarne le prestazioni in un'ottica di resilienza urbana. Per esempio, partendo dal volume della NbS, che in questo caso è stato minimizzato per limitare i requisiti di manutenzione, è possibile, in funzione della specie considerata, quantificare il relativo valore di biomassa, e stimarne la capacità di stoccaggio di carbonio (Jin *et al.*, 2023).

Conclusioni e futuri sviluppi

Lo studio presentato definisce una metodologia che pone le basi per ottimizzare la progettazione delle NbS, con focus sul miglioramento delle qualità ambientale e sull'adattamento al cambiamento climatico. In particolare, la metodologia si concentra sul ruolo degli alberi nella mitigazione dell'effetto isola di calore per il miglioramento del benessere in ambiente urbano. La metodologia sviluppata si basa sulla modellazione dinamica di un *canyon* urbano, che permette di calcolare le prestazioni specifiche del sito per diverse configurazioni progettuali. Tale metodologia verrà applicata su un campione molto ampio di combinazioni *canyon* urbani-NbS, nello sviluppo del progetto PRIN-PNRR URBAN GENERATION, con l'obiettivo di stabilire relazioni in termini di condizioni geografico-climatiche, configurazioni urbane, e relative prestazioni delle NbS, per permettere a progettisti e pubbliche amministrazioni di valutare, senza la necessità di effettuare simulazioni ad-hoc, le prestazioni di diverse soluzioni progettuali. Tali configurazioni sono modellate per essere rappresentative delle principali soluzioni progettuali e sistematizzate in un catalogo (*database*). Futuri sviluppi dovranno comprendere anche maggior dettaglio in relazione alle caratteristiche specifiche del sito (per esempio, i materiali utilizzati) e dell'evoluzione temporale delle NbS in termini di forma e prestazione. Lo studio dimostra, attraverso un focus su un'area particolarmente critica della città di Genova, che la metodologia può essere efficacemente applicata a *canyon* urbani esistenti.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Concettualizzazione: FM, KP; Metodologia: FM, KP, GO, MG; Scrittura iniziale: FM; Revisione e scrittura: FM, GO, KP, MG; Grafiche: MG, FM. PRIN PNRR 2022 program – D53D23020090001.

REFERENCES

Augusto, B. et al. (2020) 'Short and medium- to long-term impacts of nature-based solutions on urban heat', Sustainable Cities and Society, 57, pp. 102-122. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102122 (Accessed on 13/09/2024).

Biocca, M., Gallo, P. and Sperandio, G. (2022) 'Potential Availability of Wood Biomass from Urban Trees: Implications for the Sustainable Management of Maintenance Yards', Sustainability, 14(18), pp. 11226. Available at: https://doi.org/10.3390/su141811226 (Accessed on 13/09/2024).

Competence Centre of Foresight (2020), Available at: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight_en (Accessed: 04/09/2024).

Boudali Errebai, F. et al. (2022) 'Impact of urban heat island on cooling energy demand for residential building in Montreal using meteorological simulations and weather station observations', Energy and Buildings, 273, pp. 112410. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112410 (Accessed on 01/09/2024).

European Commission (2022). Nature-based solutions. Available at: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en (Accessed: 4 September 2024).

Fernandes, R. et al. (2023) 'Local Climate Zones to Identify Surface Urban Heat Islands: A Systematic Review', Remote Sensing, 15(4), pp. 884. Available at: https://doi.org/10.3390/rs15040884 (Accessed on 01/09/2024).

IPCC (2021), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf (Accessed: 25 August 2024).

Jin, S. et al. (2023) 'Comprehensive evaluation of carbon sequestration potential of landscape tree species and its influencing factors analysis: implications for urban green space management', Carbon Balance and Management, 18(1), pp. 17. Available at: https://doi.org/10.1186/s13021-023-00238-w (Accessed on 20/08/2024).

Kim, S.W. and Brown, R.D. (2021) 'Urban heat island (UHI) variations within a city boundary: A systematic literature review', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 148, pp. 111256. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111256 (Accessed on 01/09/2024).

Kundzewicz, Z.W. and Matczak, P. (2012) 'Natural risks: mitigation and adaptation', Ecohydrology & Hydrobiology, 12(1), pp. 3–8. Available at: https://doi.org/10.2478/v10104-012-0005-3 (Accessed on 20/09/2024).

Knapp, S. and MacIvor, J.S. (2023) 'Nature-based solutions and biodiversity: synergies, trade-offs, and ways forward', in T. McPhearson, N. Kabisch, and N. Frantzeskaki (eds) Nature-Based Solutions for Cities. Edward Elgar Publishing, pp. 82-103. Available at: https://doi.org/10.4337/9781800376762.00014 (Accessed on 01/09/2024).

Makki, M., Showkatbaksh, M. and Song, Y. (2019), "Wallacei Primer 2.0". Available at: https://www.wallacei.com/ (Accessed: 4 July 2024).

Marando, F. et al. (2022) 'Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas', Sustainable Cities and Society, 77, pp. 103564. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564 (Accessed on 01/08/2024).

Marrone, P. and Orsini, F. (2018) 'Resilience and open urban environments. Comparing adaptation and mitigation measures', TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment, pp. 348-357 Pages. Available at: https://doi.org/10.13128/TECHNE-22099 (Accessed on 01/08/2024).

Morabito, M. et al. (2015) 'Urban-Hazard Risk Analysis: Mapping of Heat-Related Risks in the Elderly in Major Italian Cities', PLOS ONE. Edited by K. Dalal, 10(5), pp. e0127277. Available at: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127277 (Accessed on 01/09/2024).

Mosca, F. et al. (2021) 'Nature-Based Solutions: Thermal Comfort Improvement and Psychological Wellbeing, a Case Study in Genoa, Italy', Sustainability, 13(21), pp. 11638. Available at: https://doi.org/10.3390/su132111638 (Accessed on 01/08/2024).

Muralikrishna, I. (2014), 'Biomass Calculations for Carbon Sequestration in Forest Ecosystem', Journal of Energy and Chemical Engineering, 2(1), pp. 30-38. Available at: https://www.researchgate.net/publication/259843856_Biomass_Calculations_for_Carbon_Sequestration_in_Forest_Ecosystem (Accessed on 25/07/2024).

'Nature-based solutions can pave the way to carbon-neutral cities in 2030' (2023) Nature Climate Change, 13(8), pp. 774-775. Available at: https://doi.org/10.1038/s41558-023-01750-0 (Accessed on 25/07/2024).

Nunez, M. and Oke, T. R. (1977) 'The Energy Balance of an Urban Canyon', J. Appl. Meteorol. 16, 1 I-19. Oke, T. R.: 1974, Review of Urban Climatology 1968-1973, WMO Technical Note No. 134, WMO, Geneva, Switzerland. Available at: https://www.researchgate.net/publication/260784082 (Accessed on 23/07/2024).

Pelletier, G., Landry, D. and Girouard, M. (2016), 'A Tree Classification System for New Brunswick'. Version 2.0. Northern Hardwoods Research Institute. Edmundston, New Brunswick.

Perini, K., Chokhachian, A. and Auer, T. (2018) 'Green Streets to Enhance Outdoor Comfort', in Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability. Elsevier, pp. 119–129. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00011-2 (Accessed on 25/07/2024).

Salvati, A. et al. (2022) 'Impact of reflective materials on urban canyon albedo, outdoor and indoor microclimates', Building and Environment, 207, pp. 108459. Available at: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108459.

Scudo, G. and Ochoa de la Torre, J.M. (2003), Spazi verdi urbani, la vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati. Sistemi Editoriali, Napoli.

Rigenerazione Urbana *Green*: Progettare *Streetscapes* resilienti al clima attraverso NbS

Alessandro Raffa[1], https://orcid.org/0000-0002-0296-1863 alessandro.raffa@unibas.it
Monica Moscatelli[2], https://orcid.org/0000-0001-8604-5020 mmoscatelli@psu.edu.sa
[1] Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo: Architettura, Ambiente e Patrimoni Culturali, NatureCityLAB, Università della Basilicata, Italia
[2] Architecture Department, College of Architecture and Design, SA Lab, Prince Sultan University, Riyadh, Saudi Arabia

Abstract. La rigenerazione degli *streetscapes* urbani con soluzioni basate sulla natura (NbS) è cruciale per la neutralità e la resilienza climatica. Tuttavia, la *design research* è attualmente limitata e non riesce a innovare le pratiche consolidate di pianificazione e progettazione. La ricerca in corso intende contribuire a superare questi *gap*, definendo una metodologia operativa e linee guida per promuovere la rigenerazione *nature-based* e resiliente al clima degli streetscapes. L'approccio adottato è di *Research-by-Design*, articolato in tre fasi integrate: *Research of Design, Research through Design, Research for Design*. Il contributo si focalizzerà sulle prime due fasi, applicando e testando la metodologia operativa in maniera incrociata su due quartieri a Matera, Italia, e Riyad, Arabia Saudita.

Parole chiave: Resilienza Climatica; *Nature-based Solutions* (NbS); *Streetscapes*; Rigenerazione urbana; Progetto.

Introduzione

Il cambiamento climatico (CC) è un fenomeno globale con impatti profondi sulla vita urbana. Le città stanno affrontando rischi crescenti, tra cui inondazioni, siccità e ondate di calore, che esacerbano le loro vulnerabilità ecologiche, sociali ed economiche. Le città occupano meno del 3% della superficie terrestre (Lwasa *et al.,* 2022) ma contribuiscono per oltre il 70% alle emissioni globali di CO_2. Tra i maggiori responsabili della crisi climatica, devono affrontare sfide cruciali in termini di mitigazione e adattamento (World Bank Group, 2021). Con l'urbanizzazione crescente (UN DESA, 2019), molte città stanno puntando a diventare *carbon-neutral*, raggiungendo un equilibrio tra emissioni e assorbimento di CO_2 e, più in generale, *climate-neutral*, ottenendo emissioni nette pari a zero. Il Green Deal dell'Unione Europea, con la Climate Neutral and Smart Cities Mission (2021), prevede di rendere 100 città europee resilienti entro il 2030. Affrontare queste sfide implica esplorare sinergie tra neutralità climatica e strategie di mitigazione e adattamento (UNECE, 2011), con l'obiettivo di ottenere benefici ambientali, economici e sociali e migliorare la qualità degli spazi urbani. Le Nature-based Solutions (NbS), definite come azioni che affrontano simultaneamente sfide ambientali, sociali ed economiche ispirandosi ai processi naturali (Commissione Europea, 2015), offrono benefici significativi attraverso la riduzione delle emissioni di CO_2, in maniera diretta e indiretta (Cong *et al.,* 2023; Nat. Clim. Chang, 2023), e contribuiscono all'adattamento e alla resilienza (Commissione UE, 2021) agli effetti del CC.

Integrare la rigenerazione urbana verde e la resilienza climatica degli *streetscapes*

All'interno di una ricerca finanziata[1], si esplorano le intersezioni tra neutralità climatica, resilienza e NbS nell'ambito della Rigenerazione Urbana Green (RUG) degli streetscapes. La RUG, attraverso il modello della Green City (GreenCity Network, 2020) e l'implementazione di NbS, punta a ridurre le emissioni di carbonio, migliorare la resilienza climatica e la qualità degli spazi urbani, perseguendo al contempo obiettivi rigenerativi in maniera sinergica (Liu *et al.,* 2023). La ricerca si concentra sugli *streetscape*s, definiti come «the natural and built fabric of the street, and defined as

Urban Green Regeneration: Design exploration for climate-resilient Streetscapes through NbS

Abstract. The regeneration of urban streetscapes through Nature-based Solutions is crucial for achieving climate neutrality and resilience. However, design research is limited to date and needs to impact current design and planning practices. Ongoing research attempts to go beyond present gaps to define an operational methodology and guidelines to mainstream streetscape's climate-resilient nature-based regeneration. The research adopts a Research-by-Design approach, structured in three integrative phases: (i) Research of Design, (ii) Research through Design, (iii) Research for Design. The contribution will go through the first two phases by applying and cross-testing the operational methodology in two neighbourhoods in Matera, Italy and Riyadh, Saudi Arabia.

Keywords: Climate resilience; Nature-based Solutions; Streetscapes; Urban regeneration; Design.

Introduction

Climate change (CC) is a global phenomenon that profoundly impacts urban life. Cities face increasing risks, including floods, droughts, and heat waves, exacerbating their ecological, social, and economic vulnerabilities. Although cities occupy less than 3% of the Earth's surface (Lwasa *et al.,* 2022), they contribute to over 70% of global CO_2 emissions. As major contributors to the climate crisis, cities must address crucial challenges related to mitigation and adaptation (World Bank Group, 2021, p. 20). With growing urbanisation (UN DESA, 2019), many cities aim to become carbon-neutral, achieving a balance between emissions and CO_2 absorption and, more generally, climate-neutral, meaning net-zero greenhouse gas emissions. The European Union's Green Deal, through the Climate Neutral and Smart Cities Mission (2021), aims to make 100 European cities climate-resilient by 2030. Addressing these challenges involves exploring synergies between climate neutrality, and mitigation-adaptation strategies (UNECE, 2011), seeking to achieve environmental, economic, and social benefits, besides improving the quality of urban spaces. Nature-based Solutions (NbS), defined as actions inspired from natural processes (European Commission, 2015), provide significant benefits by directly and indirectly reducing CO_2 emissions (Cong *et al.,* 2023; Nat. Clim. Chang, 2023). They contribute to adaptation and resilience (EU Commission, 2021) to the effects of CC.

Interweaving green urban regeneration and climate resilience streetscapes

This funded research project[1] explores intersections between climate neu-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16586

the design quality of the street and its visual effect [...] it includes buildings, the street surface, and also the fixtures and fittings that facilitate its use [...]» (Charwood in Rehan, 2013). Gli *streetscapes* sono risorse pubbliche diffuse e accessibili (Metha, 2019), ma spesso sottoutilizzate. Occupano, infatti, dal 15% al 30% dello spazio urbano (UN-Habitat, 2013). Le persone trascorrono da otto a dieci volte più tempo nelle strade rispetto ai parchi (Schwartz in Toomey, 2012). Per queste ragioni, sono stati elaborati framework operativi che guardano alla RUG degli *streetscapes* come opportunità di migliorare la resilienza urbana. Klemm *et al.* (2017) e Furchtlehner *et al.* (2022) hanno proposto linee guida per rafforzare le infrastrutture verdi urbane attraverso la rigenerazione *nature-based*. Cabanek *et al.* (2020) hanno creato un framework di progettazione biofilica applicato a sezioni stradali prototipiche. Tamminga *et al.* (2020) hanno definito un quadro conoscitivo per migliorare la resilienza climatica attraverso l'implementazione di NbS negli *streetscapes*; Chanse *et al.* (2021) hanno sviluppato un framework operativo per strade adattive al clima, attraverso proposte progettuali speculative di rigenerazione *nature-based*. Macaione *et al.* (2024) hanno elaborato un framework operativo alla scala di quartiere rivolto agli streetscape della città mediterranea. Città come Copenaghen, Barcellona, New York, Los Angeles, Melbourne e Toronto stanno rigenerando i loro *streetscapes* attraverso sperimentazioni che implementano strategie e azioni alla scala di quartiere per diventare *climate-neutral* and *climate-resilient*.

Gaps di ricerca

Nonostante diverse prospettive e discipline abbiano esaminato le relazioni tra rigenerazione degli *streetscapes*, NbS e resilienza climatica, emergono significativi *gap* di ricerca, soprattutto dal punto di vista della progettazione architettonico-urbana. Un primo *gap*, teorico-critico, con rilevanti implicazioni operative, riguarda il modo in cui oggi si guarda allo spazio della strada. La forma della strada è indissolubilmente legata a quella della città; interrogarsi sulla RUG della strada come problema urbano significa ridefinire il rapporto tra architettura e città (Secchi and Bochicchio, 2020) e natura. Riallacciandosi alla tradizione di studi sulla strada come spazio collettivo (Anderson, 1978; Rudofsky, 1969) e con l'intento di "restituire la strada al regno dell'architettura" (Gregotti, 1989), la ricerca si interroga su cosa sia uno *streetscape nature-based* e resiliente al clima, e sulle implicazioni spaziali nel supportare strategie di resilienza e neutralità climatica. Un secondo *gap* riguarda la ricerca *design-oriented*, piuttosto limitata nonostante la sua natura transdisciplinare e olistica possa affrontare meglio degli approcci prestazionali e settoriali correnti la complessità della RUG degli *streetscapes*. Questo *gap* si manifesta anche come una carenza di conoscenze riguardanti i principi di progettazione, le procedure e le metodologie operative, generalizzabili e replicabili, essenziali per il progresso e la trasformazione delle pratiche progettuali contemporanee.

Metodologia di ricerca

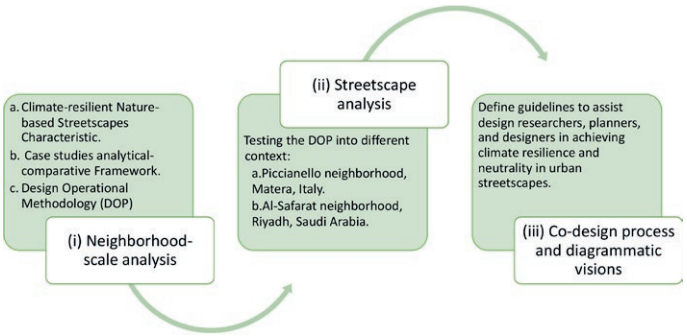
A partire dai *gap* individuati, la ricerca adotta un approccio di "*Research-by-Design*" (Hauberg, 2011); inoltre, riconosce come cruciale la dimensione transdisciplinare (Doucet and Janssens, 2023) dell'architettura e le sue "*designerly way of knowing*" (Cross, 2001; Findeli, 1999), nonché la complementarità tra ricerca transdisciplinare e disciplinare (Nicolescu, 2002, p. 45).

trality, resilience, and Nature-based Solutions (NbS) within the context of Green Urban Regeneration (GUR) of streetscapes. Through the Green City model (GreenCity Network, 2020) and the implementation of NbS, GUR aims to reduce carbon emissions, enhance climate resilience, and improve the quality of urban spaces, while synergistically pursuing other regenerative goals (Liu *et al.,* 2023). The research focuses on streetscapes, defined as «the natural and built fabric of the street, and the design quality of the street and its visual effect [...] it includes buildings, the street surface, and also the fixtures and fittings that facilitate its use [...]» (Charwood in Rehan, 2013). Streetscapes are widely accessible public resources (Metha, 2019), yet they are often underutilised. They occupy between 15% to 30% of urban space (UN-Habitat, 2013), and people spend eight to ten times more time in streets than in parks (Schwartz in Toomey, 2012). Operational frameworks have thus been developed to view GUR of streetscapes as an opportunity to enhance urban resilience. Klemm *et al.* (2017) and Furchtlehner *et al.* (2022) proposed guidelines to strengthen urban green infrastructure through nature-based regeneration. Cabanek *et al.* (2020) created a biophilic design framework for prototypical street sections. Tamminga *et al.* (2020) defined a knowledge framework for enhancing climate resilience by implementing NbS in streetscapes. Chanse *et al.* (2021) developed an operational framework for climate-adaptive streets through speculative design proposals for nature-based regeneration. Macaione *et al.* (2024) created an operational framework at the neighbourhood scale focused on streetscapes in Mediterranean cities. Cities such as Copenhagen, Barcelona, New York, Los Angeles, Melbourne, and Toronto, are regenerating their streetscapes through urban experiments that implement nature-based strategies and solutions at the neighbourhood scale to improve climate neutrality and resilience.

Research gaps and questions

Despite various perspectives and disciplines examining the relationships between streetscape regeneration, NbS, and climate resilience, significant research gaps have emerged, especially from urban and architectural design. A primary theoretical-critical gap, with significant operational implications, concerns the current perspective of street space. The form of the street is inextricably linked to that of the city; hence, examining GUR of streets as an urban issue entails redefining the relationship between architecture, the city (Secchi and Bochicchio, 2020), and nature. Building on the tradition of studies on streets as collective spaces (Anderson, 1978; Rudofsky, 1969), and with the goal of "returning the street to the realm of architecture" (Gregotti, 1989), this research explores what constitutes a climate-resilient, nature-based streetscape, along with the spatial implications of supporting resilience and climate neutrality strategies. A second gap relates to design-oriented research, which remains limited despite its transdisciplinary and holistic nature. It could address the complexity of GUR for streetscapes more effectively than current performance-based and sectoral approaches. This gap also manifests as a deficiency in knowledge concerning design principles, procedures, and operational

01 | Diagramma della metodologia della ricerca, elaborazione degli Autori
Methodological phase diagram, Authors' elaboration



La ricerca adotta una metodologia "*design-as-search*" (Nijhuis and Bobbink, 2012), strutturata in tre fasi integrate (Fig. 1):
- *Research of Design*: mira a definire che cosa sia uno *streetscape* nature-based e climatico- resiliente ed una metodologia operativa space-based per la sua rigenerazione, replicabile in diversi contesti urbani alla scala di quartiere;
- *Research through Design*: tratta la metodologia operativa come ipotesi da verificare e affinare tramite l'applicazione in diversi contesti a scala di quartiere. Progettazione e ricerca si intrecciano, generando conoscenza attraverso il processo progettuale stesso;
- *Research for Design*: si propone di elaborare linee guida per promuovere resilienza e neutralità climatica nella rigenerazione urbana *nature-based* degli *streetscapes* attraverso un approccio fondato sulla modificazione dello spazio.

Il metodo iterativo consente di affinare progressivamente la metodologia, trasformandola in linee guida concrete. La scala di quartiere è stata scelta per la sua capacità di connettere ambienti urbani di diverse dimensioni e gestire la complessità. L'applicazione della metodologia operativa su due contesti, consentirà di sviluppare riflessioni e orientare futuri sviluppi.

Research of Design

Caratteristiche degli Streetscape nature-based resilienti al clima

Con l'obiettivo di definire cosa sia uno *streetscape nature-based* e resiliente al clima, a partire da una literature review nell'ambito della *design research* condotta attraverso articoli accademici (databases: Scopus, Web of Science, Google Scholar) e documenti e report di pianificazione e progettazione urbana, è stata sviluppata una tassonomia di caratteristiche, organizzate per tematiche (Tab. 1). Tali caratteristiche sono state utilizzate per valutare sia i casi studio selezionati sia, durante la fase di *Research through Design*, per esaminare le trasformazioni previste.

Quadro analitico-comparativo dei casi studio

Circa 40 casi studio tra città dell'UE e degli US (Macaione *et al.* 2024), all'avanguardia nella rigenerazione *nature-based* e resiliente al clima, sono stati selezionati, analizzati e confrontati (Tab. 2). Per quanto riguarda i criteri specifici, i progetti selezionati sono stati analizzati per comprendere: (a) le vulnerabilità pre-intervento; (b) le strategie progettuali adottate, (c) quali NbS sono state implementate, quali i benefici previsti/ottenuti e i processi ecologici attivati; (d) le azioni e i dispositivi spaziali messi in campo; (e) il processo progettuale, attraverso i suoi principi, metodi e procedure. La raccolta di casi studio ha fornito una conoscenza approfondita sul fenomeno della rigenerazione nature-based degli *streetscapes* urbani, individuando tendenze e prospettive future. Inoltre, la tassonomia dei casi studio servirà anche come catalogo di best practices e sarà parte delle linee guida finali della ricerca.

Definizione preliminare della Metodologia Operativa

A partire dal confronto tra processi progettuali dei casi studio analizzati e da una literature review specifica dedicata ai framework progettuali, è stata definita, in via preliminare, una me-

methodologies that are generalisable, replicable and crucial for advancing and transforming contemporary design practices.

Research methodology

Based on the identified gaps, the research adopts a "Research-by-Design" approach (Hauberg, 2011). Moreover, it recognises the crucial transdisciplinary dimension (Doucet and Janssens, 2023) of architecture and its "designerly ways of knowing" (Cross, 2001; Findeli, 1999), as well as the complementarity between transdisciplinary and disciplinary research (Nicolescu, 2002). The research employs a "design-as-search" methodology (Nijhuis and Bobbink, 2012), structured in three integrated phases (Fig. 1):
- Research of Design: aims to define what constitutes a nature-based and climate-resilient streetscape, as well as a space-based operational methodology for its regeneration, replicable in various urban contexts at the neighbourhood scale;
- Research through Design: treats the operational methodology as a hypothesis to be tested and refined through its application in various neighbourhood-scale contexts. Here, design and research are closely intertwined, generating knowledge through the design process itself;
- Research for Design: seeks to develop guidelines to promote resilience and climate neutrality in the nature-based urban regeneration of streetscapes through a space-modification approach.

The iterative method allows for the progressive refinement of the operational methodology, ultimately transforming it into actionable guidelines. The neighbourhood scale has been chosen for its ability to connect urban environments of varying sizes and manage complexity. The application of the operational methodology in two contexts will enable the development of insights and guide future developments.

Research on design

Characteristics of nature-based and climate-resilient Streetscapes

With the aim of defining what constitutes a nature-based and climate-resilient streetscape, a taxonomy of characteristics was developed based on a literature review within the field of design research. The research was conducted on academic articles (databases: Scopus, Web of Science, Google Scholar) and urban planning and design documents and reports. Organised into thematic areas (Tab. 1), these characteristics were used to evaluate both the selected case studies and, during the Research through Design phase, to examine the proposed transformations.

Analytical-comparative framework of case studies

About 40 case studies from EU and US cities (Macaione *et al.,* 2024), at the forefront of nature-based and climate-resilient regeneration, were selected, analysed, and compared (Tab. 2). Regarding specific criteria, the selected projects were analysed to understand: (a) pre-intervention vulnerabilities; (b) the design strategies adopted; (c) which NbSs were implemented, the expected/achieved benefits, and the ecological processes activated; (d) the spatial actions and devices employed; (e) the design process, through its principles, methods, and procedures. This

Tab. 01 | Caratteristiche degli Streetscapes resilienti al clima e Nature-based, elaborazione di A. Raffa
Climate-resilient Nature-based Streetscape Characteristics, elaboration by A. Raffa

Tab. 02 | Framework analitico-comparativo dei casi studio, elaborazione di A. Raffa
The analytical-comparative framework of case studies, elaboration by A. Raffa

Tab. 01 |

Themes	Characteristic
Ecology & Biodiversity	Ecological connectivity; Green Infrastructure & NbS; Vegetation layering; Native vegetation; Wildlife habitat; Soil and water quality
Climate	Stormwater management; Flooding Mitigation; Heat Mitigation; Drought resistance; Extremes Preparedness; Carbon Storage and Sequestration
Mobility	Slow mobility; Public Multi-modality; Sustainable Mobility
Wellbeing & Health	Accessibility; Active transportation; Air quality; Noise reduction; Social Interaction & Cohesion; Experience
Social Equity & Inclusivity	Accessibility; Safety & Security; Social Equity; Cultural Sensitivity; Program; Empowerment
Energy & Smart	Reduce consumption; Energy efficiency; Smart Infrastructure; Smart Monitoring
Value Creation	Property Value Enhancement; Economic Development; Tourism & Recreation; Green Economy

Tab. 02 |

1. Case studies Selected criteria	Definition Criteria
Urban Regeneration	Regeneration of abandoned, underused or in use infrastructural spaces
Climate-Resilient Green Solutions	Implement NbS and Green Infrastructure to adapt and mitigate to climate change effects
Sustainable Urban Planning initiatives	Developed in cities whit consistent planning initiatives concerning Climate resilience and neutrality, Nature-based and Green Infrastructures initiatives
21st Century Development	Developed after 2000, both built and unbuilt
EU and US Projects	Developed in US and EU
Award / Relevance	Design by relevant design firm, competition winning proposal or grant recipients
2. Case studies Analytical criteria	**Definition Criteria**
2.1. General Criteria	
Location	Type: Coastal, Delta, River, Mountain (World Bank, 2021)
Climate	Climate: A (tropical), B (arid), C (temperate), D (continental) (Köppen classification)
	Climate hazards: Heat, Flood, Drought; Wind
Grey Infrastructure	Shape: Linear, Network, Radial, Grid Extension
Planning	Relevant City Planning initiative
Design	Design Firm
2.2. Specific Criteria	
Vulnerabilities	Valued through Themes and Characteristics
Strategies	Valued through Themes and Characteristics
Nature based Solutions	Family &Technique
(World Bank, 2021)	Benefits
	Process
Nature-based	Spatial Action
Space solutions	Spatial Dispositive
Design Process	Features:
	Interdisciplinary; Multi-Scalarity; Multi-Temporality; Multi-Stakeholder Collaboration; Context Sensitivity
	Methods
3. Case studies Comparative criteria	**Definition Criteria**
	Climate: Climate, Climate Hazards
	Grey Infrastructure: Shape, Extension
	Vulnerabilities & Strategies
	Nature based Solutions: Family & Techniques
	Nature-based Space Solutions: Spatial Action, Spatial Dispositive
	Design Process: Features

phase provided in-depth knowledge on the phenomenon of nature-based regeneration of urban streetscapes, identifying current trends and future perspectives. Additionally, the taxonomy of case studies will serve as a catalogue of best practices, and will be part of the final research guidelines.

Operational methodology

Based on the comparison of design processes from the analysed case studies and a specific literature review focused on design frameworks, a preliminary operational methodology was defined, structured in three stages (Tab. 3). The methodology, in particu-

Tab. 03| Metodologia operativa di progetto, elaborazione di A. Raffa
Design Operational Methodology, elaboration by A. Raffa

todologia operativa articolata in tre momenti (Tab. 3). La metodologia, in particolare, è stata informata dal lavoro condotto per gli *streetscapes* di Los Angeles (UFEC, 2021) e Groningen (Felixx, Groningen Municipality, 2021), in cui il contributo dell'approccio architettonico-urbano alla trasformazione è cruciale.

Tra *Research through e for Design*

La metodologia operativa è stata sperimentata a Piccianello, Matera (Italia), e ad Al Safarat, Riyadh (Arabia Saudita), rivelando le loro differenze climatiche, morfologiche, di distribuzione del verde nei loro *streetscapes* (Tab. 4). Piccianello, sviluppatosi per fasi successive, alterna episodi di qualità architettonica, come il quartiere moderno di Spine Bianche (Aymonino e altri, 1954-59) (Fig. 3), ad espansioni recenti con carenze di verde e qualità urbana. Al Safarat (Speer, 1978-82), invece, nasce da un progetto unitario post-moderno che reinterpreta la tradizione architettonica locale dentro ad un disegno urbano di quartiere giardino europeo (Fig. 4). Entrambi i loro *streetscapes* sono vulnerabili al cambiamento climatico; in particolare, le proiezioni climatologiche indicano

| Tab. 03

Climate-resilient Nature-based Streetscape Design Operational methodology	
1_Neighborhood-scale Analysis and Priority Areas	
Mapping analysis	GIS-based Mapping to explore the entanglements between climate stress, carbon emissions, ecological and mobility patterns in relation to streets infrastructure
Climate Stress	Heat maps; Flood maps; Wind maps (both to date and projections)
Carbon Emission	Carbon Dioxide emission maps, per business days and seasonal
Ecological patterns	Ecological connectivity; Green Infrastructure & NbS; Green space and social inequalities/vulnerabilities
Street infrastructure	Street Typological characterization and related impervious surfaces
Flow analysis	Slow Mobility; Public Multi-modality; Sustainable Mobility; Security
People's Understanding	Understand values people address to the street infrastructure inside the neighborhood
Vulnerability & Opportunities	Identify present and future vulnerabilities and potential opportunities for streetscape climate resilient nature-based regeneration at the neighborhood scale level
Prioritization I	Space-based prioritization for interventions (areas)
Neighborhood area	Mapping + Vulnerability & Opportunities analysis and Community meeting with local residents and stakeholders
2_Streetscape-scale Analysis and Generative Sections	
3D Street Analysis	Characterize street space according to its morphology, green features, gray infrastructures, uses and flows, people perception
Morphological	Street's dimension; building density and façade; design; materials; urban furnishing
Green Features	NbS, Tree Canopy and green spaces health
Grey infrastructure	Sewage, irrigation, lightning systems
Uses and Flows	Usability for pedestrians and public uses patterns
People's Perception & Understanding	Consider residents' perception concerning street space quality and use local knowledge to understand fragilities, needs and expectations Community meeting with local residents and stakeholders
Vulnerabilities & Opportunities (Transect Analysis)	Integrating street characterization and residents' perception and knowledge to have a more comprehensive understanding of vulnerabilities and opportunities at the street scale level
Prioritization II	Space-based prioritization for interventions (streets)
Generative Sections (one per typology)	3D Street Analysis+ Vulnerability & Opportunities Transect analysis and Community meeting with local residents and stakeholders
3_Co-Design	
Diagrammatic street sections	Through a holistic and multi-disciplinary design approach define alternative diagrams for each generative section which implements NbS Families and Techniques, according to different time scale (2050 and 2100)
Diagrammatic street Assessment	Assess diagrammatic sections design outputs according to parameters and Sub-parameters from Tab. 01, their possible benefits compared to present condition
Final diagrammatic street layout	Define a final diagrammatic street layout, through an interactive and well-rounded community engagement process
Three Tier Method	Decompose the layout according to the Three Tier method. The approach involves breaking down the intervention into phases based on complexity, economic feasibility, and levels of community participation

Tab. 04| Confronto tra i casi studio, elaborazione di A. Raffa
Comparison between case studies, elaboration by A. Raffa

Tab. 04 |

Applicational Case studies	**Piccianello**	**Al-Safarat**
Neighborhood		
Location	Matera	Riyadh
Climate (Coppen classification)	Cfa (C-Temperate, f-No dry season, a-Hot summer)	BWh (B-Dry, w-Arid desert, h-Hot)
Grey Infrastructure Typology	Network, Radial	Network, Radial
Road and Streets	37,8%	16,6 %
Green and public spaces (ratio)	22,0%	30,9%
Planning Framework (climate & resilience)	Sustainable Urban Mobility Plan (2022)	Green Riyadh Project (2019); Riyadh Sustainability (2021)
Dates	From 1900 Spine Bianche neigh. 1954-1959	1978-1982
Streetscape		
Vulnerabilities		
Climatic	Flooding; heatwaves; Heat island effect; drought; wind	Flooding; heatwaves; Heat island effect; drought; wind
Ecological	Lack of ecological connectivity; Biodiversity loss; Soil & water pollution; lack of vegetation	Biodiversity loss; Soil & water pollution
Mobility	Lack of slow mobility; lack of multimodality; lack of sustainable mobility	Lack of slow mobility; lack of multimodality
Wellbeing & Health	Lack of accessibility to green areas & public space; lack of Active mobility; Air, Noise, light pollution; lack of Social Interaction & Cohesion; lack of experience	Lack of Active transportation; Air, Noise, light pollution; lack of experience
Social Equity & Inclusivity	Lack of Safety & Security; lack of social equity; unequal green space distribution; lack of programming	Lack of social equity; lack of empowerment; gentrification
Energy & Smart	High energetic consumption; lack of efficiency; lack of smart infrastructure & monitoring	Lack of adoption of renewable energy sources; lack of efficiency; insufficient monitoring
Value Creation	Lack of commercial activities	Tourism & Recreation; Green Economy
Nature-based solutions		
Techniques (existing)		
	Pocket parks; Natural Playgrounds; Street Treen canopies; Green avenues	Ecological forest corridors; Pocket parks; Natural Playgrounds; Street tree canopies; Green avenues; Permeable pavements

lar, was informed by the work carried out for the streetscapes of Los Angeles (UFEC, 2021) and Groningen (Felixx, Groningen Municipality, 2021), where the contribution of the architectural-urban approach to transformation is crucial.

Research through and for design

The Operational Methodology was tested in Piccianello, Matera (Italy), and Al Safarat, Riyadh (Saudi Arabia), revealing the climatic, morphological, and green space distribution differences within their streetscapes (Tab. 4). Piccianello, developed in successive phases, alternates episodes of architectural quality, such as the modern neighbourhood of Spine Bianche (Aymonino *et al.,* 1954-59) (Fig. 3), with more recent expansions characterised by a lack of green space and urban quality. In contrast, Al Safarat (Speer, 1978-82) emerged from a unified postmodern design that reinterprets local architectural traditions within a European garden-like neighbourhood urban layout (Fig. 4). Both of their streetscapes are vulnerable to climate change; specifically, climatological projections suggest that Piccianello will experience future conditions similar to the current ones in Al Safarat.

Discussion

Addressing data availability challenges

The regeneration of streetscapes often encounters challenges due to the lack of detailed data for neighbbourhood-scale mapping. Information on climate, carbon emissions, and vegetation cover is frequently fragmented or only available at broader scales. To overcome these limitations, researchers should integrate technologies such as remote sensing, satellite imagery, and citizen science, capitalising on residents' observations regarding microclimates and local issues. Participatory workshops can complement qualitative and quantitative data, improving mapping efforts and the identification of local vulnerabilities.

Perception and public engagement

The transition to multifunctional streetscapes requires considering community perceptions. While people in Al Safarat perceive the streets as monofunctional (Chaiechi *et al.* 2022; Katar 2022; Sultan *et al.* 2021), Piccianello shows greater variety in the use of spaces. Communication strategies tailored to the local context, including visual tools such as model and infographics, can help raise community awareness about the benefits of NbS, such as flood risk reduction and enhanced biodiversity. In vulnerable neighbourhoods like Piccianello, designers should focus on the immediate benefits of NbS within long-term strategies. In areas like Al Safarat, where there is greater climate awareness, designers should emphasise how transformations in streetscapes can promote long-lasting resilience (Moscatelli and Raffa, 2023).

Implementing inclusive and collaborative co-design processes

Co-design is crucial in reconciling diverse interests and creating shared visions in the RUG of streetscape. Workshops and public forums, supported by visual tools such as models and maps, facilitate dialogue between citizens, experts, and authorities. The collaborative decision-making process focused on defining action priorities in alignment with local

02 | Quartiere Piccianello (sopra) e Al Safarat (sotto). Aree verdi e copertura arborea, sistema infrastrutturale e mappa termica, elaborazione di A. Raffa e M. Moscatelli
Piccianello neighbbourhood (top) and Al Safarat (bottom). Green areas and tree canopy, infrastructural system and heat map, elaboration by A. Raffa and M. Moscatelli

needs, integrating feedback to refine proposals continuously. This flexible approach ensured ongoing community engagement, keeping the project responsive to evolving circumstances and needs.

Developing adaptive and context-sensitive design solutions

Adaptive design solutions must balance immediate needs with long-term sustainability, prioritising quick improvements for vulnerable communities within long-term visions. Adopting flexible and modular approaches facilitates gradual implementation, supported by pilot projects that highlight the benefits of NbS. Integrating NbS into broader urban resilience strategies is essential, focusing on public health, energy efficiency, and social inclusion, ensuring alignment with urban goals through multisectoral collaborations.

Conclusions: Limitations and further developments

The RUG of streetscapes aims to create urban environments capable of adapting to the effects of climate change, reducing carbon emissions, and enhancing resilience, including climate resilience. This approach integrates natural processes into architectural and urban design, addressing CC-related risks to generate multi-level benefits, including improving the quality of urban spaces. From a design perspective, this means redefining the relationship between streets, cities, and natural elements, innovating established practices, and overcoming sector-specific technical approaches. Knowledge of local contexts, robust data collection, inclusive co-design processes, and adaptive solutions are essential for an effective RUG of streets. However, neighbourhood-level interventions may need to address the complexity of broader urban networks fully. Research experiments demonstrate the importance of spatial dimension, not only in terms of outcomes but also regarding the process itself. In the future, with many pilot experiments across various contexts, it will be possible to refine the operational methodology and support its replicability. Once this phase is complete, researchers will develop design guidelines for nature-based and climate-resilient streetscape regeneration to help cities achieve climate neutrality and resilience goals while improving spatial quality.

ACKNOWLEDGMENTS

A. Raffa: parr.: Intertwining green..., Research Gaps..., Research Methodology, Research of..., Between Research...; M. Moscatelli: par: Discussion. A. Raffa and M. Moscatelli: Introduction, Conclusion. A. Raffa contribution comes from the research activity inside the project Urban Green Shape (2022-2025), funded by PON R&I and FSE-REACT-EU, Axis IV – Action IV.4 and Action IV.6; Contract number 38-G-14879-1, CUP C49J2104334000, Sc. Res. I. Macaione. Research group: NatureCityLAB, I. Macaione, B, Andaloro. M. Moscatelli collaborated to test and verify the operational methodology on the Saudi case and thanks the SA Lab and the PSU for supporting the publication.

NOTES

[1] Urban Green Shape (2022-2025), founded by PON R&I and FSE-REACT EU, Axis IV – Action IV.4 and Action IV.6, contract number: 38-G-14879-1, CUP C49J2104334000, Res. sc. I. Macaione.

03 | Piccianello. Sezione diagrammatica con Nbs, processi e benefici, elaborazione di A. Raffa. Le icone utilizzate sono tratte da World Bank 2021
Piccianello. A diagrammatic section with Nbs, process and benefits, elaboration by A. Raffa. The icons used are taken from World Bank 2021

che Piccianello in futuro sperimenterà condizioni analoghe a quelle attuali di Al Safarat.

Discussione

A partire dall'applicazione comparata della metodologia operativa nei due contesti selezionati, sono emersi limiti e possibilità che hanno contribuito ad un suo affinamento in vista di future sperimentazioni progettuali e che verranno di seguito discussi.

Affrontare la sfida della disponibilità di dati
La rigenerazione degli *streetscapes* si scontra spesso con la mancanza di dati dettagliati per mappature a scala di quartiere. Informazioni su clima, emissioni di carbonio e copertura vegetale spesso risultano frammentate o disponibili solo su scale più ampie. Per superate tali limiti, è necessario combinare tecnologie come il *remote-sensing*, immagini satellitari e la *citizen science*, valorizzando le osservazioni dei residenti su microclimi e criticità locali. Workshop partecipativi possono integrare dati qualitativi e quantitativi, migliorando la mappatura e l'identificazione delle vulnerabilità locali.

Percezione e coinvolgimento pubblico
La transizione verso *streetscapes* multifunzionali richiede di considerare le percezioni della comunità. Mentre ad Al Safarat le strade sono viste come monofunzionali (Chaiechi *et al.* 2022; Katar 2022; Sultan *et al.* 2021), Piccianello mostra maggiore varietà nell'uso dei loro spazi. Strategie comunicative adattate al contesto locale, che includano strumenti visivi come modelli e infografiche, possono sensibilizzare le comunità sui benefici delle NbS, come la riduzione del rischio di inondazioni e il potenziamento della biodiversità. In quartieri vulnerabili come Piccianello è fondamentale che i progettisti si concentrino sui benefici immediati delle NbS all'interno di strategie a lungo termine. In ambiti come Al Safarat caratterizzati da maggiore consapevolezza climatica, l'accento deve essere posto su come le trasformazioni negli *streetscapes* possano promuovere una resilienza duratura (Moscatelli and Raffa, 2023).

Implementare processi di co-design inclusivi e collaborativi
Il co-design è fondamentale per conciliare interessi diversi e creare visioni condivise nella RUG degli *streetscapes*. Workshop e forum pubblici, supportati da strumenti visivi come modelli

03 |

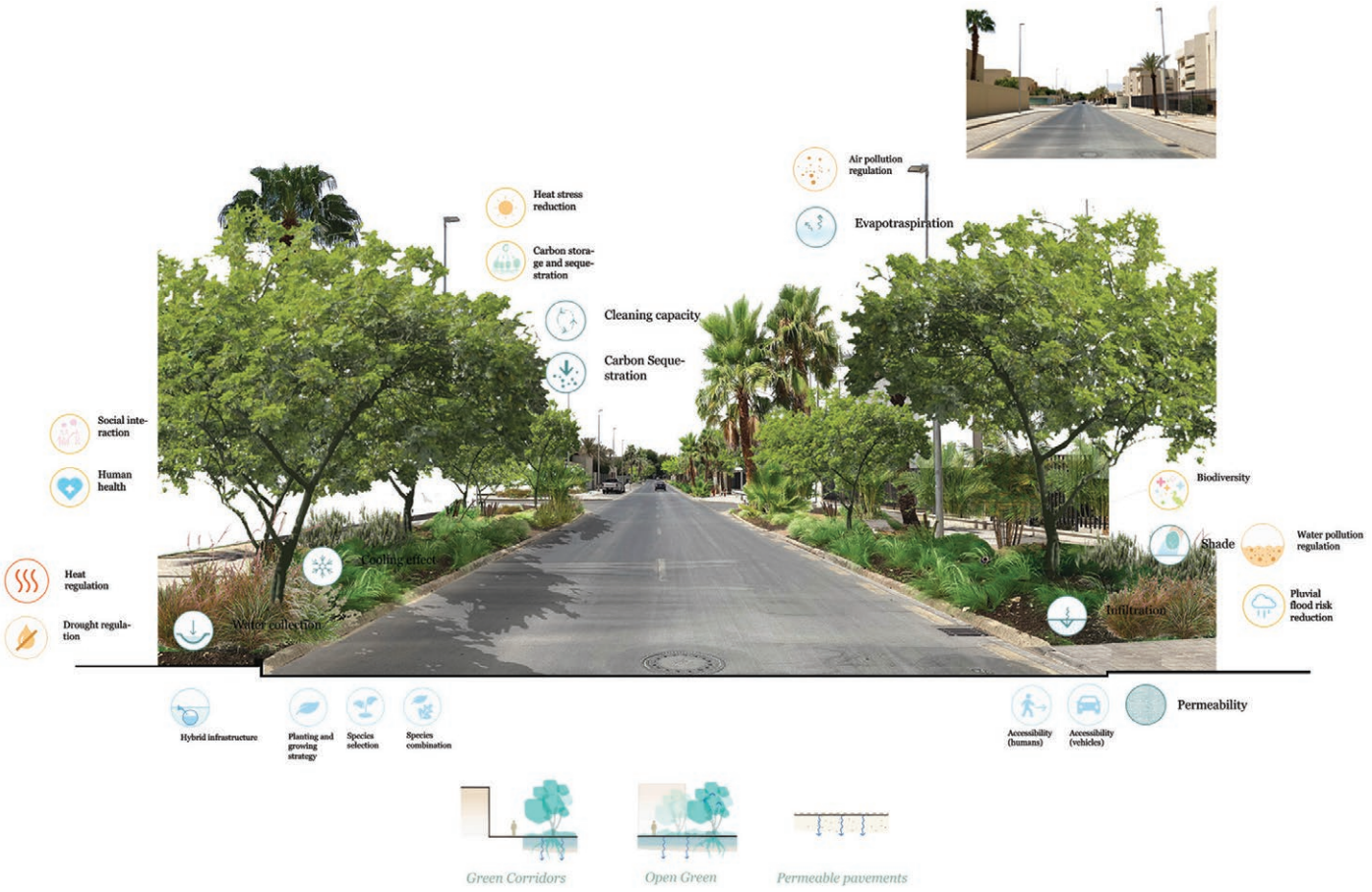
04 | Al Safarat. Sezione diagrammatica con Nbs, processi e benefici, elaborazione degli Autori. Le icone utilizzate sono tratte da World Bank 2021
Al Safarat. A diagrammatic section with Nbs, process and benefits, Authors' elaboration. The icons used are taken from World Bank 2021

e mappe, facilitano il dialogo tra cittadini, esperti e autorità. Il processo decisionale collaborativo si è focalizzato sulla definizione delle priorità delle azioni in accordo con le esigenze locali, integrando feedbacks per un costante affinamento delle proposte. Quest approccio flessibile ha garantito un coinvolgimento continuo della comunità, mantenendo il progetto reattivo alle circostanze e alle necessità in evoluzione.

Sviluppare soluzioni di design adattive e sensibili al contesto
Le soluzioni di progettazione adattiva devono bilanciare le esigenze immediate con la sostenibilità a lungo termine, privilegiando miglioramenti rapidi per le comunità vulnerabili all'interno di visioni di lungo periodo. L'adozione di approcci flessibili e modulari facilita un'implementazione graduale, supportata da progetti pilota che evidenziano i benefici delle NbS. È essenziale integrare le NbS in strategie di resilienza urbana ampie, orientate a salute pubblica, efficienza energetica e inclusione sociale, garantendo l'allineamento con obiettivi urbani attraverso collaborazioni multisettoriali.

Conclusioni: limitazioni e sviluppi futuri

La RUG degli *streetscapes* intende realizzare ambienti urbani capaci di adattarsi agli effetti del CC, ridurre le emissioni di carbonio e migliorare la resilienza, anche climatica. Questo approccio integra processi naturali nella progettazione architettonico-urbana, affrontando i rischi legati al CC, con l'obiettivo di generare benefici multi-livello, compreso migliorare la qualità degli spazi urbani. Dal punto di vista progettuale, ciò significa ridefinire il rapporto tra strada, città ed elemento naturale, innovando pratiche consolidate e superando approcci tecnici settoriali. Per una RUG efficace delle strade sono fondamentali la conoscenza dei contesti locali, una solida raccolta di dati, processi inclusivi di co-progettazione e soluzioni adattive. Tuttavia, gli interventi a livello di quartiere potrebbero non considerare la complessità delle reti urbane più ampie. Le sperimentazioni di ricerca condotte mostrano l'importanza della dimensione spaziale, non solo rispetto all'esito ma anche riguardo al processo stesso. In futuro, con un numero significativo di sperimentazioni-campione in diversi contesti,



sarà possibile precisare la metodologia operativa e sostenere la sua replicabilità. Una volta conclusa questa fase, verranno elaborate linee guida progettuali per la rigenerazione *nature-based* e climatico-resiliente degli *streetscapes* per supportare le città nel raggiungimento degli obiettivi di neutralità e resilienza climatica, simultaneamente al miglioramento della qualità spaziale.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

A. Raffa: parr.: Integrare la …, Gap e …, Metodologia…, Research of …, Tra Research through…; M. Moscatelli: parr. Discussione…; A. Raffa e M. Moscatelli: Introduzione, Conclusioni. Il contributo di A. Raffa deriva dall'attività di ricerca condotta nel progetto Urban Green Shape (2022-2025), finanziato su fondi PON R&I e FSE-REACT EU, Asse IV – Azione IV.4 e Azione IV.6, numero contratto: 38-G-14879-1, CUP C49J2104334000, Res. sc. I. Macaione. Gruppo di ricerca: NatureCityLAB, I. Macaione, B. Andaloro. M. Moscatelli ha collaborato ad applicare e testare la metodologia operativa sul caso saudita e ringrazia il SA Lab e la PSU per il supporto alla pubblicazione.

NOTE

[1] *Urban Green Shape* (2022-2025), finanziato su fondi PON R&I e FSE-REACT EU, Asse IV – Azione IV.4 e Azione IV.6, numero contratto: 38-G-14879-1, CUP C49J2104334000, Res.sc. I. Macaione.

REFERENCES

AA.VV. (2023), "Nature-based solutions can pave the way to carbon-neutral cities in 2030", *Nature Climate Change,* Vol.13, pp. 774-775. Available at: http://dx.doi.org/10.1038/s41558-023-01750-0 (Accessed on 20/06/2024).

Anderson, S. (1978), *On Streets*, MIT Press, Cambridge.

Cabanek, A., Zingoni de Baro, M.E. and Newman, P. (2020), "Biophilic Streets: A Design Framework for Creating Multiple Urban Benefits", *Sustain. Earth*, Vol.3, Available at: http://dx.doi.org/10.1186/s42055-020-00027-0 (Accessed on 20/06/2024).

Chaiechi, T., Pryce, J., Eijdenberg, E., and Azzali, S. (2022), "Rethinking the Contextual Factors Influencing Urban Mobility: A New Holistic Conceptual Framework", *Urban Planning,* Vol. *7,* n. 4, pp. 140-152. Available at: http://dx.doi.org/10.17645/up.v7i4.5784 (Accessed on 20/06/2024).

Chanse, V., Asfari Bajestani, S., Cambpell, A., and McCormik, J. (2021), "Toward a Climate Adaptive Street Framework: Investigating Landscape Performance", *Proceedings of the 2nd International Conference on Futures of Public Space*, Teheran, IR, December 8-10, 2021. Available at: http://dx.doi.org/10.25455/wgtn.23936418 (Accessed on 20/06/2024).

Cong, C., Pan, H., Page, J., Barthel, S., and Kalantari, Z. (2023), "Modeling place-based nature-based solutions to promote urban carbon neutrality", *Ambio,* Vol. 52, pp. 1297-1313. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/s13280-023-01872-x (Accessed on 20/06/2024).

Cross, N. (2001), "Designerly Ways of Knowing: Design Discipline Versus Design Science", *Design Issues,* Vol.17, pp. 49-55. Available at: http://dx.doi.org/10.1162/074793601750357196 (Accessed on 20/06/2024).

Doucet, I, and Janssens, N. (2023), *Transdisciplinary knowledge production in Architecture and Urbanism*, Springer, Dordrecht, NL. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0104-5 (Accessed on 20/06/2024).

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (2015), *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities – Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities',* Publications Office, Luxemburg, p. 4. Available at: https://data.europa.eu/doi/10.2777/479582 (Accessed on 20/06/2024).

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (2021), *Evaluating the impact of nature-based solutions – A handbook for practitioners*, Publications Office, Luxemburg. Available at: https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577 (Accessed on 20/06/2024).Felixx, Groningen Municipality (2021), *New Space For Living: Design Guidelines for Public Spaces*. Available at: https: //gemeente.groningen.nl/sites/groningen/files/2022-03/New-Space-For-Living---Quality-Of-Public-Space.pdf (Accessed on 15/11/2024).

Findeli, A. (1999), "Introduction", *Design Issues,* Vol.15*,* pp.1-3. Available at: https://prismic-io.s3.amazonaws.com/idralainfindeli/68379090-3b0c-4c2d-af07-8f76ad137dc5_DI_+XV%2C+2%2C+1999+-+Special+issue+Design+Research.pdf (Accessed on 20/06/2024).

Furchtlehner, J., Lehner, D. and Lička, L. (2022), "Sustainable Streetscapes: Design Approaches and Examples of Viennese Practice", *Sustainability,* Vol. 14, p. 961. Available at: http://dx.doi.org/10.3390/su14020961 (Accessed on 20/06/2024).

Green City Network (2020), *Carta per la rigenerazione urbana delle Green City*, p.3. Available at: https://www.greencitynetwork.it/wp-content/uploads/Carta-per-la-rigenerazione-urbana-delle-gren-city-1.pdf (Accessed on 20/06/2024).

Gregotti, V. (1989), "La strada: tracciato e manufatto", *Casabella*, Vol. 1, n. 553-554, p. 5.

Hauberg, J. (2011), "Research by Design – a research strategy", *AE…Revista Lusófona de Architectura e Educacao*, Vol.5, pp. 46-56.

Katar, I. (2022), "Promoting pedestrian ecomobility in Riyadh City for sustainable urban development", *Scientific Reports,* Vol. 12, p. 14808. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-022-18183-y (Accessed on 20/06/2024).

Klemm, W., Lenzholzer, S. and van den Brink, A. (2017), "Developing Green Infrastructure Design Guidelines for Urban Climate Adaptation", *J. Landsc. Archit.*, Vol. 12, pp. 60-71. Available at: http://dx.doi.org/10.1080/18626033.2017.1425320 (Accessed on 20/06/2024).

Liu, Y., Sang, M., Xu, X., "Shen, L. and Bao, H. (2023), How can Urban Regeneration Reduce Carbon Emission? A Bibliometric Review", *Land*, Vol.12, p. 1328. Available at: http://dx.doi.org/10.3390/land12071328 (Accessed on 20/06/2024).

Lwasa, S., Seto, K.C., Bai, X., Blanco, H., Gurney, K.R., Kılkış, Ş., Lucon, O., Murakami, J., Pan, J., Sharifi, A., and Yamagata, Y. (2022), "Urban systems and other settlements", in IPCC (eds.), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate,* Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, pp. 861-952. Available at: http://dx.doi.org/10.1017/9781009157926.010 (Accessed on 20/06/2024).

Macaione, I., Raffa, A. and Andaloro, B. (2024), "Climate-Adaptive Nature-based Regenerative Urban Green Streetscapes: Design Exploration from the City of Matera", *Sustainability*, Vol.16, p. 6811. Available at: http://dx.doi.org/10.3390/su16166811 (Accessed on 05/09/2024).

Mehta, V. (2019), "Streets and social life in cities: a taxonomy of sociability", *Urban Design International*, Vol. 24, pp. 16-37. Available at: http://dx.doi.org/10.1057/s41289-018-0069-9 (Accessed on 20/06/2024).

Moscatelli, M., and Raffa, A. (2023), "Syn(En)ergies in neighbourhood regeneration. Al Safarat experimental laboratory in transition", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 26, pp. 94-102. Available at: http://dx.doi.org/10.36253/techne-14419 (Accessed on 20/06/2024).

Nicolescu, B. (2002), *Manifesto of Transdsciplinary*, State University of New York Press, Albany, US.

Nijhuis, S. and Bobbink, I. (2012), "Design-related research in landscape architecture", *Journal of Design Research*, Vol.10, pp. 239-257. Available at: http://dx.doi.org/10.1504/JDR.2012.051172 (Accessed on 20/06/2024).

Rehan, R. (2013), "Sustainable Streetscape as an effective tool in sustainable urban design", *HBRC Journal*, Vol. 9, pp.173-186. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.03.001 (Accessed on 20/06/2024).

Secchi, R., Bochicchio, L. (2020), *L'architettura della strada. Forme Immagini Valori,* Quodlibet, Macerata.

Sultan, B., Katar, I.M. and Al-Atroush, M.E. (2021), "Towards sustainable pedestrian mobility in Riyadh city, Saudi Arabia: A case study", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 69, p. 102831. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2021.102831 (Accessed on 20/06/2024).

Tamminga, K., Cortesão, J. and Bakx, M. (2020), "Convivial Greenstreets: A Concept for Climate-Responsive Urban Design", *Sustainability*, Vol.12, 3790. Available at: http://dx.doi.org/10.3390/su12093790 (Accessed on 20/06/2024).

Toomey, T. (2012), "Designing for the urban landscape to meet 21st century challenges", *Yale Environment 360*, 5 Dec. Available at: http://e360.yale.edu/features/martha_schwartz_urban_landscape_designs_to_meet_21st_century_challenges (Accessed on 20/06/2024).

UFEC (2021), *LA Urban Forest Equity Streets Guidebook*. Available at: http://npr.brightspotcdn.com/b6/ff/ad92512f4e9f9e81630e797163c4/la-urban-forest-streets-guidebook-final-revised.pdf(Accessed on 15/11/2024).

UN DESA (2019), *World Urbanization Prospects 2018: Highlights,* p. 5. Available at: http://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf (Accessed on 20/06/2024).

UN ECE (2011), *Climate Neutral Cities. How to make cities less energy and carbon intensive and more resilient to climate challenge*, UN, Geneva, Switzerland. Available at: http://unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/Publications/climate.neutral.cities_e.pdf (Accessed on 20/06/2024).

UN-Habitat (2013), *Streets as Public Spaces and drivers of Urban Prosperity*, UN-Habitat, Nairobi, p. 51. Available at: http://unhabitat.org/streets-as-public-spaces-and-drivers-of-urban-prosperity (Accessed on 20/06/2024).

World Bank (2021), *A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience*. Available at: https://hdl.handle.net/10986/36507 (Accessed on 20/06/2024).

World Bank Group (2021), *Climate Change Action Plan 2021-2025,* p. 20. Available at: http://hdl.handle.net/10986/35799 (Accessed on 20/06/2024).

Circolarità delle risorse, energia solare e bioclimatica per l'edificio storico *Climate Neutral*

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Serena Baiani, https://orcid.org/0000-0002-1975-3251 serena.baiani@uniroma1.it
Paola Altamura, https://orcid.org/0000-0001-7317-1036 paola.altamura@uniroma1.it
Giada Romano, https://orcid.org/0000-0003-0344-8153 giada.romano@uniroma1.it
Dipartimento di Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura, "Sapienza" Università di Roma, Italia

Abstract. Il contributo riporta gli esiti di attività di ricerca sulla riqualificazione del patrimonio costruito storico in contesto urbano, ambito di indagine strategico e sfidante per conseguire neutralità climatica, sostenibilità e salvaguardia delle risorse a lungo termine. Obiettivo della ricerca è la messa a punto di un modello di intervento replicabile e adattabile rivolto specificatamente all'edificio storico, che combini, secondo l'approccio *Cradle to Cradle*, tecnologie e sistemi innovativi circolari ed ecocompatibili, tra cui sistemi bioclimatici passivi e integrati attivi per la produzione energetica da fonte solare. Tra i casi pilota della ricerca, il contributo descrive la sperimentazione per scenari e gradienti di integrazione e trasformazione dell'esistente sull'Ex Filanda a Roma.

Parole chiave: *Resource circularity*; *Solar energy*; *Bioclimatic passive systems*; *Heritage buildings*; *Climate neutral*.

Introduzione

Il raggiungimento dell'obiettivo di "Fit for 55" (EC, 2021) del taglio delle emissioni climalteranti del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, e ancor più di quello della neutralità climatica al 2050, richiedono necessariamente che i sistemi energetici nell'EU siano convertiti su fonti rinnovabili, che l'efficientamento del patrimonio edilizio contribuisca alla riduzione di consumi ed emissioni e che si incrementi il livello di *resource efficiency* (EC, 2019; 2020). Il conseguimento della neutralità climatica dell'ambiente costruito in ambito urbano dipende quindi da un lato dall'innovazione in ambito energetico e dall'altro da una concreta applicazione del paradigma circolare ai diversi flussi di risorse, attraverso il progetto tecnologico-ambientale. In questo contesto, il patrimonio costruito storico rappresenta per la ricerca un ambito di indagine strategico e sfidante per conseguire neutralità climatica, sostenibilità e salvaguardia delle risorse a lungo termine. L'analisi del comportamento energetico del patrimonio storico dimostra infatti una condizione di elevata richiesta energetica, in riferimento alle attuali normative (Lucchi *et al*., 2023): si consideri che una parte consistente dello stock in Europa ha più di 50 anni, con molti edifici in uso oggi che hanno centinaia di anni (Mazzarella, 2015), e che gli edifici residenziali costruiti prima degli anni Sessanta rappresentano circa il 37% del totale dello stock edilizio dell'Europa mediterranea[1]. Assumendo una definizione ampia di edificio storico, ovvero un edificio che abbia un'età sufficiente (più di 70 anni in base al D. Lgs. 42/2004 in Italia, ridotti in altri contesti territoriali a 50 anni), un grado relativamente alto di integrità fisica e un significato storico (Webb, 2017), ed includendo così anche edifici non necessariamente vincolati, il patrimonio storico da indagare nella ricerca diventa ancor più ampio, variegato e interessante campo di sperimentazione.
Iniziative quali la stesura del protocollo LEED specifico per il Patrimonio storico (GBC Historic Building, 2018), che si applica agli edifici storici di valore culturale costruiti prima del 1945 per una porzione pari ad almeno il 50% degli elementi tecnici esistenti, hanno evidenziato l'esigenza di un intervento interdisciplinare per raggiungere e valutare elevati livelli di sostenibilità degli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero, integrazione e miglioramento energetico di edifici storici con diverse destinazioni d'uso. Più di recente, il riferimento esplicito agli interventi di restauro come ambito di applicazione dei Criteri Ambientali Minimi del Green Public Procurement per l'Edilizia (nell'aggiornamento di cui al DM 23/06/2022) ha sancito l'obbligatorietà di implementazione dei previsti criteri di

Resource circularity, solar energy and bioclimatics for the Climate Neutral historic building

Abstract. This paper reports the results of research activities on the redevelopment of the historic built heritage in the urban context, a strategic and challenging field of investigation to achieve climate neutrality, sustainability and long-term resource conservation. The objective of the research is the development of a replicable and adaptable intervention model aimed specifically at historic buildings, which combines, according to the Cradle to Cradle approach, innovative circular and environmentally friendly technologies and systems, including passive bioclimatic systems and active integrated solar systems for energy production from RES. Among the research pilot cases, the contribution describes the experimentation for scenarios and gradients of integration and transformation of the existing building on the Ex Filanda in Rome.

Keywords: Resource circularity; Solar energy; Bioclimatic passive systems; Heritage buildings; Climate neutral.

Introduction

Achieving the 'Fit for 55' (EC, 2021) target of cutting climate-changing emissions by 55% by 2030 compared to 1990 levels, and even more so reaching climate neutrality by 2050, necessarily requires that energy systems in the EU are converted to renewable sources, that the efficiency of the building stock contributes to the reduction of consumption and emissions, and that the level of resource efficiency is increased (EC, 2019; 2020). Therefore, achieving climate neutrality in the built environment of urban areas depends on innovation in the energy field, as well as on a concrete application of the circular paradigm to the different resource flows through environmental-technological design. In this context, the historical built heritage is, for research, a strategic and challenging field of investigation to achieve climate neutrality, sustainability and long-term resource conservation. In fact, the analysis of the energy behaviour of the historical heritage shows a condition of high energy demand, with reference to current regulations (Lucchi *et al*., 2023). Consider that a substantial part of the stock in Europe is more than 50 years old, with many buildings in use today being hundreds of years old (Mazzarella, 2015), and that residential buildings built before the 1960s account for about 37% of the total building stock in Mediterranean Europe[1]. Assuming a broad definition of a historic building, i.e. a building that is sufficiently old (more than 70 years according to Legislative Decree 42/2004 in Italy, reduced in other territorial contexts to 50 years) has a relatively high degree of physical integrity and historical significance (Webb, 2017), and thus also including buildings that are not nec-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16597

Circular Design (materiali di recupero, riciclati, disassemblabilità), e di quelli energetici ed ecologici anche all'edificio storico, sebbene con possibilità di deroga sui singoli criteri ambientali non compatibili con gli interventi di conservazione. Appare sempre più strategica quindi la riflessione sulle strategie, modalità e tecnologie di intervento mirate e compatibili, verso l'edificio storico *Climate Neutral*.

Stato dell'arte e obiettivi della ricerca

Il miglioramento dell'efficienza energetica nell'edilizia storica non può prescindere da un'attenzione alle finalità di tutela del processo di conservazione degli assetti materiali, integrando le nuove esigenze per il raggiungimento della neutralità climatica (Ambrogio and Zuppiroli, 2013). Se in una prima fase, negli anni '90, è emersa l'esigenza di integrazione impiantistica nell'edificio storico sulla base della struttura tipologica dello stesso, integrando gli impianti in cavedi, camini ed altri spazi esistenti per limitare l'invasività degli interventi, il passaggio alle FER ha modificato l'approccio, prevedendo l'integrazione architettonica, energetica e tecnologica (Lucchi *et al.* 2023). Il concetto di integrazione di energie rinnovabili è stato così progressivamente declinato anche sui beni vincolati (Baiani *et al*., 2023). La specificità dell'edificio storico richiede infatti che i criteri principali che orientano il progetto siano tutela e conoscenza del bene. Nello sviluppare poi le soluzioni tecnologico-costruttive, gli aspetti chiave riguardano la compatibilità e reversibilità dell'intervento, oltre alla sua durabilità nel tempo e all'effettiva produzione energetica. Principi che rispondono pienamente anche agli obiettivi di circolarità e *resource efficiency*, nel garantire la possibilità di successivi cicli d'uso dell'edificio e dei suoi componenti (Foster, 2020), con progressivo aumento del valore del bene, in ottica di *upcycling*. L'integrazione delle tecnologie solari rappresenta una strategia che consente al contempo di ridurre l'infrastrutturazione nel contesto dell'edificio storico e di migliorarne le interazioni con l'ambiente, in linea con l'approccio *Cradle to Cradle*.

In questo senso, la parola chiave per l'intervento sull'*historic building* è proprio "miglioramento", in luogo di "adeguamento" (Pracchi and Lucchi, 2017): è necessario evitare di mirare a target di efficientamento pensati per il patrimonio edilizio comune, e studiare attentamente la natura materica e strutturale, caso per caso, per definire le soluzioni più appropriate per ridurre il consumo energetico da fonti fossili e, laddove possibile, renderlo in grado di produrre energia, senza alterarne le caratteristiche peculiari, arrivando potenzialmente ad inserirlo in un più ampio *network* attraverso comunità energetiche rinnovabili (Petraroria and Sessa, 2023; Buda, 2023).

Obiettivo della ricerca, impostata nell'ambito di un Progetto finanziato dall'Ateneo "Sapienza" e sviluppata per la parte di approfondimento sulle tecnologie solari all'interno del Progetto PNRR PE2 Spoke 8 "NEST", è dunque la messa a punto di un modello di intervento rivolto specificatamente alla riqualificazione dell'edificio storico – replicabile in contesto urbano –, che preveda la combinazione, secondo l'approccio *Cradle to Cradle*, di tecnologie e sistemi innovativi circolari orientati al paradigma zero energia, emissioni e rifiuti, valorizzando le potenzialità di integrazione dei sistemi solari attivi e passivi. Per indirizzare positivamente il comportamento del sistema edificio-ambiente, è necessario studiare il comportamento in termini di distribu-

essarily listed, the built heritage to be investigated in research becomes even broader, more varied and an interesting field of experimentation.

Initiatives such as the drafting of the heritage-specific LEED protocol (GBC Historic Building, 2018), which applies to historic buildings of cultural value built before 1945 for a portion equal to at least 50% of the existing technical elements, have highlighted the need for an interdisciplinary intervention to achieve and evaluate high sustainability levels of conservation, rehabilitation, integration and energy improvement of historic buildings with different uses. The recent explicit reference to restoration work as a field of application of the Minimum Environmental Criteria of the Green Public Procurement for Buildings (in the update of Ministerial Decree 23/06/2022) has sanctioned the mandatory implementation of the envisaged Circular Design criteria (recovered materials, recycled materials, ease of disassembly), and energy and ecological criteria also to historic buildings, although with the possibility of derogation on individual environmental criteria that are not compatible with conservation work. Therefore, reflections on targeted and compatible intervention strategies, methods and technologies towards the Climate Neutral historic building are increasingly strategic.

State of the Art and Research Objectives

The improvement of energy efficiency in historic buildings must take into account the need to preserve the material integrity of these structures, while integrating new requirements to achieve climate neutrality (Ambrogio and Zuppiroli, 2013). In the early 1990s, the focus was on integrating mechanical systems within historic buildings by using typological structures such as ducts, chimneys and other existing spaces to limit the invasiveness of interventions. However, the transition to renewable energy sources (RES) has shifted the approach toward architectural, energy and technological integration (Lucchi *et al*., 2023). The concept of renewable energy integration has thus progressively been applied also to protected heritage buildings (Baiani *et al*., 2023). The specific nature of historic buildings requires that the primary criteria guiding the project be protection and understanding of the asset. In developing technological and construction solutions, the key aspects concern the compatibility and reversibility of the intervention, as well as its durability over time and actual energy production. These principles fully align with the goals of circularity and resource efficiency, ensuring the potential for subsequent usage cycles of the building and its components (Foster, 2020), while progressively increasing the value of the asset through an upcycling perspective. The integration of solar technologies is a strategy that not only reduces infrastructural demands on the historic building but also improves its interactions with the environment, consistently with the Cradle to Cradle approach. In this regard, the key term for interventions in historic buildings is "improvement" rather than "adaptation" (Pracchi and Lucchi, 2017). It is essential to avoid aiming for efficiency targets designed for conventional building stock. The material and structural nature of each case should, instead, be carefully studied to define the most appropriate solutions to reduce the building's

zione del calore dell'edificio storico, sviluppare, valutare e applicare modelli di sistemi passivi ad alte prestazioni per il riscaldamento e raffrescamento passivo e la ventilazione naturale (Hastings, 2013; Cillari, 2021), integrando quindi i sistemi bioclimatici con tecnologie e sistemi attivi volti a ridurre le emissioni di carbonio e a migliorare l'efficienza e ridurre i consumi energetici (Jonasson, 2024). L'integrazione di tali sistemi, insieme a soluzioni che aumentino la resilienza e promuovano la circolarità delle risorse naturali e materiche, contribuisce a ridurre l'*energy demand* e le emissioni di carbonio e ad aumentare l'efficienza energetica e la flessibilità nei consumi finali (Knuutila, 2022; Azouz, 2023).

Metodologia della ricerca L'analisi della reportistica internazionale, della letteratura scientifica e di numerosi casi studio ha permesso di strutturare un quadro integrato di strategie e soluzioni tecnologiche di intervento per l'edificio storico *Climate Neutral*, volto a definire un modello replicabile, che utilizzi in modo interrelato i comportamenti bioclimatici passivi delle tipologie edilizie consolidate ed integri sistemi attivi innovativi, per aumentare la resilienza e l'adattabilità del costruito storico, ridurre le emissioni di carbonio, migliorare qualità ambientale e comfort termoigrometrico, perseguendo cosi benefici ambientali, sociali ed economici.

La selezione delle strategie e soluzioni tecnologiche, compatibili con l'esistente e orientate all'uso circolare ed efficiente delle risorse, con un focus sui sistemi solari attivi e passivi, deriva dall'applicazione di criteri, in parte già introdotti e consolidati nella sperimentazione (Baiani *et al*., 2024), per valutare gli effetti ambientali in ottica di ciclo di vita. La ricerca ha infatti sviluppato una metodologia per quantificare l'efficienza, in ottica di riduzione del consumo di risorse e delle emissioni climalteranti, e la circolarità delle componenti materiali (materie prime seconde, componenti di riuso, energia e carbonio incorporati nei materiali), energetiche (accumulo, stoccaggio e riuso energetico, produzione energetica da fonte rinnovabile) ed ecologiche (accumulo, stoccaggio e riuso di acque meteoriche, scarti organici, reflui).

La fase di valutazione dei comportamenti passivi dell'involucro storico per il raggiungimento dell'obiettivo di *climate neutrality* si incentra sulla misura: della trasmittanza termica del sistema costruttivo originario per la selezione dei sistemi tecnici di isolamento; della riflettanza solare e luminosa, per la riduzione dell'eventuale surriscaldamento e il miglioramento del comfort visivo, riducendo il fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale, correlato al parametro del *Daylight Factor*; dei carichi termici, invernali ed estivi, per valutare l'efficacia delle soluzioni passive (schermature, sistemi a guadagno solare diretto e indiretto, isolamento termico e ventilazione naturale) nel ridurre i consumi energetici, stagionalmente e globalmente; del calcolo dei consumi energetici globali al fine della stima della quantità di energia necessaria per assicurare un clima e comfort adeguato indoor; del calcolo della quantità di energia prodotta da fonte energetica rinnovabile; del calcolo delle emissioni di CO_2 determinate dai consumi energetici, per stimare la riduzione dell'impronta carbonica ottenuta, rispetto al consumo di energia da fonte fossile.

Le scelte tecniche sono, quindi, valutate in riferimento al gradiente di integrazione morfologica, riconoscibilità dell'intervento e integrazione del sistema energetico (Baiani *et al*., 2023), coerentemente con le caratteristiche morfotipologiche: nuove volu-

fossil fuel energy demand and, where possible, enable energy production without altering its distinctive features. This approach may eventually allow the building to be integrated into a broader network through renewable energy communities (Petraroria and Sessa, 2023; Buda, 2023).

The objective of this research, set up as part of a Project financed by the 'Sapienza' University and developed for the in-depth part on solar technologies within the PNRR PE2 Spoke 8 'NEST' Project, is, therefore, the development of an intervention model that is replicable in an urban context, and specifically aimed at redeveloping historical buildings. This model, based on the Cradle to Cradle approach, envisions the combination of innovative circular technologies and systems oriented toward the zero-energy, zero-emissions, and zero-waste paradigm, while enhancing the potential integration of active and passive solar systems. To positively influence the building-environment system's behaviour, it is necessary to study the thermal distribution behaviour of the historic building, and to develop, evaluate, and apply high performance passive systems for heating, passive cooling, and natural ventilation (Hastings, 2013; Cillari, 2021). These bioclimatic systems must then be integrated with active technologies and systems aimed at reducing carbon emissions, improving efficiency, and lowering energy consumption (Jonasson, 2024). The integration of these systems and technologies, together with solutions that increase resilience and promote the circularity of natural and material resources in architecture, helps to reduce energy demand and carbon emissions, while increasing energy efficiency and flexibility in final energy uses (Knuutila, 2022; Azouz, 2023).

Research methodology

The analysis of international reporting, scientific literature, and numerous case studies has made it possible to structure an integrated framework of intervention strategies and technological solutions for the Climate Neutral historic building. This framework aims to define a replicable model that interrelates the passive bioclimatic behaviours of consolidated building typologies with innovative active systems in order to increase the resilience and adaptability of historic structures, reduce carbon emissions, improve environmental quality and thermo-hygrometric comfort, thereby achieving environmental, social, and economic benefits.

The selection of strategies and technological solutions, compatible with existing structures and oriented towards the circular and efficient use of resources, with a focus on active and passive solar systems, is based on the application of criteria, partly already introduced and consolidated in previous experimentation (Baiani *et al*., 2024), to assess environmental impacts from a life-cycle perspective. The research has developed a methodology to quantify efficiency in terms of reducing resource consumption and greenhouse gas emissions, as well as the circularity of material components (secondary raw materials, reusable components, energy and carbon embedded in materials), energy components (storage, recovery, and reuse of energy, energy production from renewable sources), and ecological components (collection, storage, and reuse of rainwater, organic waste, and wastewater). The evaluation phase of

metrie, poste in aderenza o separate, inserite internamente come "box in the box" o aggiunte in copertura (Baiani *et al*., 2024).
Il quadro di strategie e soluzioni e la metodologia di valutazione sono stati applicati a più casi pilota di edifici storici, sui quali sono stati sviluppati scenari di intervento alternativi, per verificare l'efficacia di diverse soluzioni progettuali e tecnologiche, nella combinazione tra assetto morfologico e integrazione di tecnologie solari passive e attive, di soluzioni costruttive reversibili e sistemi per la circolarità dei vari flussi di risorse. Al fine di calcolare i valori dei suddetti parametri, per ciascuno scenario è stato elaborato un modello tridimensionale su software di simulazione dinamica, mentre le emissioni di CO_2 sono state calcolate in funzione dell'energia consumata nell'edificio, considerando la quota prodotta da fonti energetiche rinnovabili a fronte di un pari consumo da fonti fossili e del relativo fattore di emissione estrapolato da *benchmark* di riferimento[2]. Nel paragrafo successivo si riportano i risultati della sperimentazione sull'edificio della Ex Filanda a Roma, sito in un contesto urbano complesso, selezionato tra i casi pilota della ricerca, al fine di valutare soluzioni che, misurate e calibrate secondo criteri *site-specific*, possono costituire un quadro orientato a circolarità, sostenibilità e resilienza, con significative ricadute sull'intorno.

Risultati: scenari di intervento sull'Ex Filanda a Roma

Contesto e analisi degli aspetti materici e climatici

L'Ex Filanda è stata realizzata nel 1926 a Roma su Viale Castrense, in un ambito urbano compresso tra le Mura Aureliane e gli isolati di via La Spezia, sui resti del Sessorium. L'edificio monopiano con due ali laterali a doppio livello, in muratura con solai in legno, destinato originariamente ad ospitare un istituto educativo per bambini svantaggiati, è successivamente trasformato in istituto di artigianato, i cui resti sono l'effetto di tre incendi del 2015 (Fig. 1). L'inserimento dell'area tra i siti del Concorso internazionale "Reinventing Cities"[3], a cui Roma ha aderito come membro del C40, ha costituito l'occasione per la sperimentazione sul caso pilota, offrendo il quadro di esigenze di riferimento per un complesso progetto di riqualificazione dell'esistente, con la ricostruzione della copertura e un consentito incremento di superficie utile del 30%, ovvero di un secondo livello completo, in stretta integrazione con Viale Castrense e i Giardini Carlo Felice (Barbieri, 2020).
Un'attenta analisi climatico-ambientale svolta mediante indagine diretta e simulazioni, ha fatto emergere la buona esposizione solare durante i mesi estivi, pur in condizione sfavorevole per il fenomeno dell'isola urbana di calore (Ahmed *et al*., 2024) anche a causa della notevole massa termica delle Mura Aureliane, e l'esposizione solare minima durante i mesi invernali (dicembre – marzo) con ombre perenni sul lato sud e sud-ovest. Dalle simulazioni fluido-dinamiche è evidente l'effetto *channelling* su Viale Castrense, che può essere sfruttato per il controllo microclimatico in fase estiva e la produzione energetica, adottando dispositivi microeolici.
Dal quadro delineato deriva la definizione di 5 diversi scenari progettuali, in ottica di riqualificazione *climate neutral*, per la riduzione dell'impatto ambientale dell'edificio sia attraverso la circolarità delle risorse materiali e naturali che attraverso l'ottimizzazione delle performance energetiche dell'edificio, con particolare riferimento alle prestazioni attive e passive dell'involucro edilizio.

the passive behaviours of the historic envelope, aimed at achieving climate neutrality by reducing CO_2 emissions, focuses on measuring: the thermal transmittance of the original construction system for the selection of technical insulation systems; solar and light reflectance, to mitigate potential overheating and improve visual comfort, while reducing energy demand for artificial lighting, related to the Daylight Factor parameter; thermal loads, both winter and summer, to assess the effectiveness of passive solutions (shading, direct and indirect solar gain systems, thermal insulation, and natural ventilation) in reducing energy consumption, both seasonally and globally; the calculation of global energy consumption to estimate the amount of energy required to ensure adequate indoor climate and comfort; the calculation of the amount of energy produced from renewable energy sources; the calculation of CO_2 emissions resulting from energy consumption, to estimate the reduction in the carbon footprint achieved compared to energy consumption from fossil fuels.
The technical choices are, therefore, evaluated considering the gradient of morphological integration, recognisability of the intervention, and integration of solar technologies (Baiani *et al*., 2023), in alignment with morpho-typological characteristics, precisely, new volumes, either attached or detached, inserted internally as a 'box in the box,' or added to the roof (Baiani *et al*., 2024).
The framework of strategies and solutions, along with the evaluation methodology, has been applied to multiple pilot cases of historic buildings. For these, alternative intervention scenarios were developed to assess the effectiveness of different design and technological solutions, considering the combination of morphological configurations and the integration of passive and active solar technologies, reversible construction solutions, and systems for the circularity of various resource flows.
To calculate the values of these parameters, a three-dimensional model was created for each scenario using dynamic simulation software. CO_2 emissions were calculated based on the energy consumed by the building, taking into account the share produced from renewable energy sources compared to an equivalent consumption from fossil fuels and the corresponding emission factor derived from reference benchmarks[2]. The following section presents the experimental results from the Ex Filanda building in Rome, located in a complex urban context and selected among the pilot cases of the research. This was done to evaluate solutions that, measured and calibrated according to site-specific criteria, may form a framework oriented towards circularity, sustainability, and resilience, with significant impacts on the surrounding environment.

Results: intervention scenarios on the Ex Filanda in Rome

Context and analysis of material and climatic aspects

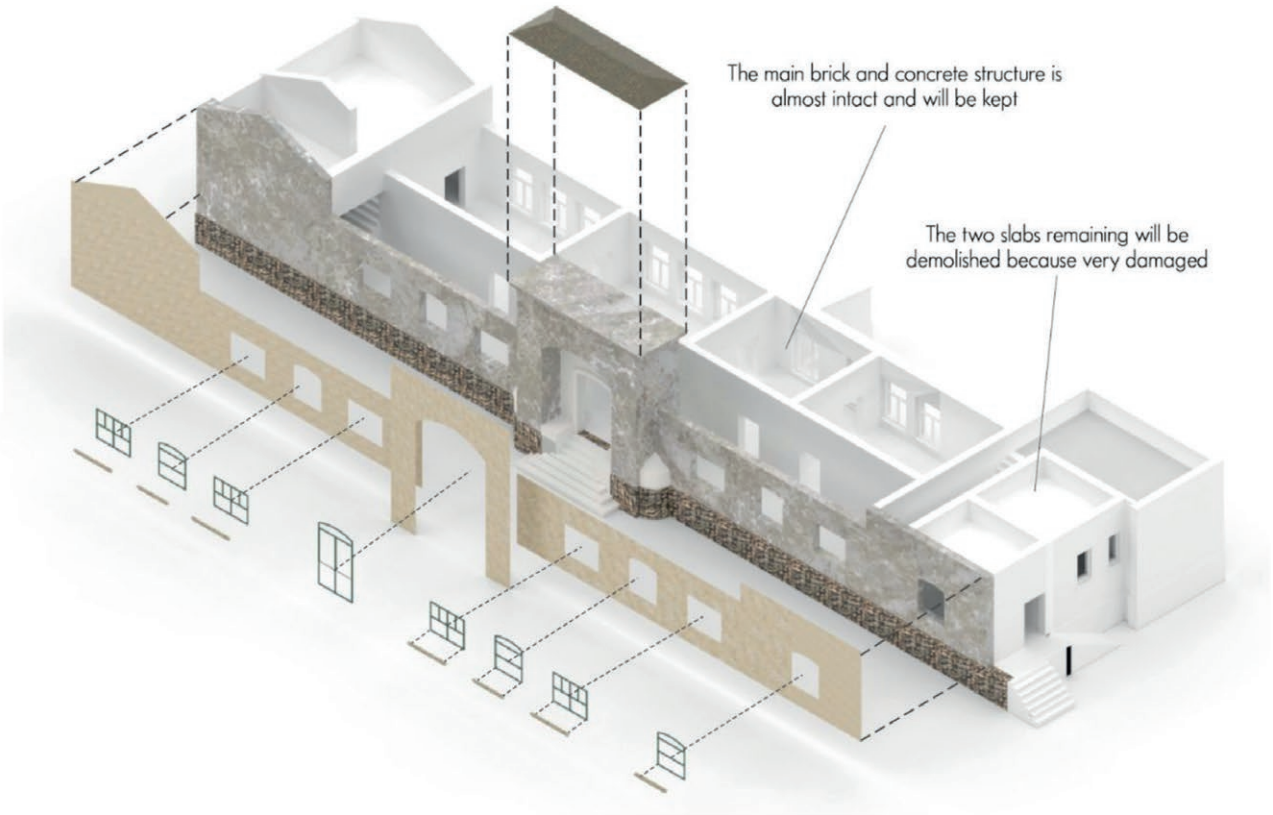
The Ex Filanda, built in 1926 in Rome along Viale Castrense, in an urban area compressed between the Aurelian Walls and the blocks of Via La Spezia, on the remains of the Sessorium. The single-storey building with two side wings at double height, constructed in masonry with wooden floors, was originally designed to host an educational institute for underprivileged

01 | Stato attuale dell'edificio dell'Ex Filanda: facciata principale, vista assonometrica e rilievo fotografico delle condizioni prima e dopo gli incendi del 2015, autori con S. Win Pe, Y. Becquart, B. Tojiboev, P. Henning

Current state of the Ex Filanda building: main façade, axonometric view and photographic survey of conditions before and after the 2015 fires, the authors with S. Win Pe, Y. Becquart, B. Tojiboev, P. Henning

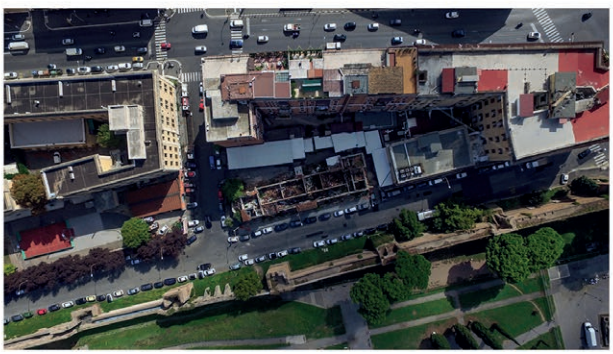
01 | MAIN FACADE OF THE EX FILANDA

AXONOMETRIC VIEW OF THE CURRENT STATUS OF THE BUILDING



STREET VIEW BEFORE FIRES IN 2014

AERIAL PHOTO POST FIRES



La riflessione sugli aspetti materici ha permesso di valutare come prioritaria e compatibile la scelta del legno (talvolta in legno lamellare, in X-LAM o in LVL) per le aggiunte, anche strutturali, in modo da garantire la completa reversibilità e disassemblabilità dei sistemi e ridurre l'*embodied carbon*.
Gli aspetti ecologici hanno focalizzato le priorità sul recupero, stoccaggio e riuso delle acque meteoriche dalle coperture e dalle aree verdi limitrofe; sulla componente grigia dei reflui per il reimpiego dell'acqua depurata in parte per usi non sanitari e in parte per usi impiantistici. Dopo una prima filtrazione, specifici impianti dotati di scambiatori di calore, collegati con il sistema centralizzato di riscaldamento o con torri evaporative per il raffrescamento, riescono a recuperare parte dell'energia diminuendo i consumi della climatizzazione invernale ed estiva.
L'ottimizzazione delle performance energetiche, in aggiunta all'integrazione delle soluzioni passive e attive differenziate, scenario per scenario, in base ai differenti approcci, deriva dalla tipologia di impianto solare, che privilegia il BIPV (*Building Integrated Photovoltaic*) nelle coperture o in facciata, e – per ridurre l'*embodied carbon* dei sistemi ed aumentarne la produttività, sperimenta pannelli fotovoltaici innovativi.

Scenari di intervento e scelte tecnologico-ambientali
Lo scenario di intervento 1 (Fig. 2) inserisce le previste volumetrie aggiuntive e quelle sottratte dal secondo livello esistente, definendo un nuovo terzo livello: pur con un livello basso di integrazione morfologica e alta riconoscibilità dell'intervento, permette di incrementare l'esposizione all'irraggiamento durante tutte le stagioni. Il secondo piano, completamente svuotato, con un piano pilotis realizzato in legno lamellare, permette di accedere al terzo livello tramite collegamenti racchiusi in un atrio bioclimatico, che convoglia la ventilazione naturale incrociata degli ambienti e la sposta, con moto ascendente, in sommità, migliorando le condizioni di raffrescamento passivo e ventilazione naturale, riducendo i carichi termici e gli apporti impiantistici attivi. L'edificio è alimentato da impianto fotovoltaico di nuova generazione, completamente integrato in copertura mediante tegole fotovoltaiche in ceramica, supportato da pavimentazioni cinetiche e un impianto micro-eolico nelle aree esterne (Fig. 3). Le soluzioni attive da fonte rinnovabile producono 46.339,51 kWh/anno, a fronte di un consumo di 46.157,00 kWh/anno, coperto totalmente; le emissioni di CO_2 evitate con la sostituzione delle fonti fossili con rinnovabili ammontano a 11.871,60 kg di CO_2/anno.
Lo scenario 2 (Fig. 4) inserisce volumetrie nella struttura dell'edificio preesistente, al quale si affianca una sottrazione per separazione e il mantenimento della superficie di facciata, riportata allo stadio originario. Raggiunge un livello medio di integrazione morfologica e riconoscibilità dell'intervento, che deriva dal mantenimento della facciata esistente con l'arretramento dei nuovi blocchi in X-LAM e vetro strutturale, massimizzando le prestazioni energetiche per l'ottimizzazione dei parametri di incidenza solare, esposizione e orientamento del fotovoltaico integrato nella falda inclinata, progettata attraverso la modellazione dell'illuminazione diurna e della termodinamica. La copertura ha una intercapedine aerata per la ventilazione naturale e il raffrescamento passivo per moto ascendente dell'aria. Il BIPV realizzato con tegole fotovoltaiche di vetro colorato di nuova generazione, integrato nella copertura inclinata rivolta a sud (azimuth 2° – tilt 15°), produce 65.460,32 kWh/anno

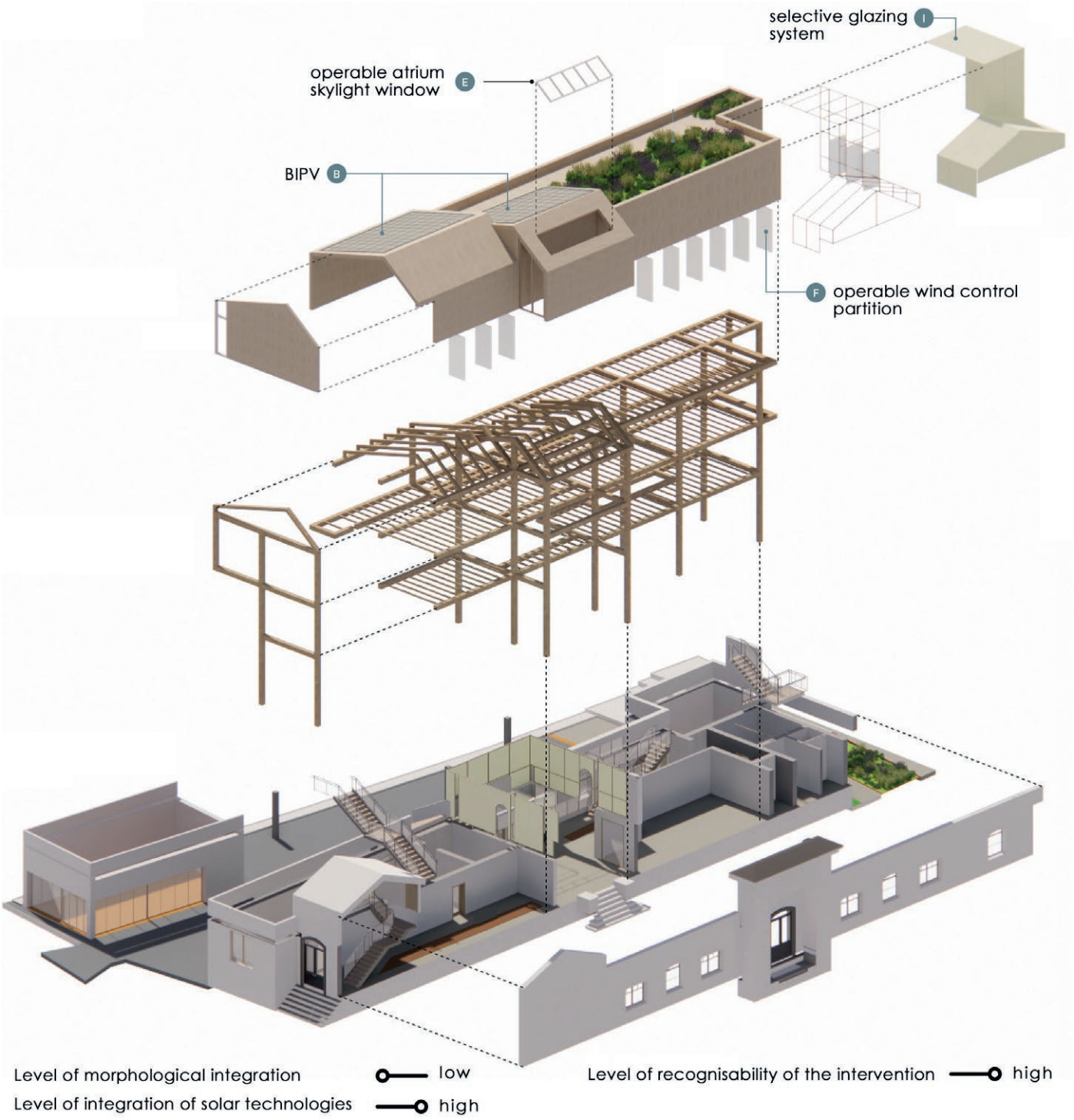
children. It was later converted into a craft institute, the remnants of which are the result of three fires in 2015 (Fig. 1). The inclusion of the area among the sites of the international Reinventing Cities competition, in which Rome participated as a member of the C40 network, provided an opportunity for experimentation on the pilot case. This initiative offered a framework of reference requirements for a complex project aimed at rehabilitating the existing structure, including the reconstruction of the roof and a permitted 30% increase in usable floor area-equivalent to a complete second level-closely integrated with Viale Castrense and the Carlo Felice Gardens (Barbieri, 2020).
A detailed climatic-environmental analysis, conducted through direct surveys and simulations, revealed good solar exposure during the summer months, although the site is affected by the urban heat island phenomenon (Ahmed *et al.*, 2024), exacerbated by the significant thermal mass of the Aurelian Walls. Minimal solar exposure was observed during the winter months (December – March), with permanent shadows on the south and southwest sides (Fig. 2). Computational fluid dynamics simulations highlighted the channelling effect along Viale Castrense, which could be exploited for microclimate control in the summer and for energy production through the integration of micro wind turbines.
Based on this analysis, five climate-neutral redevelopment approaches have been identified to reduce the building's environmental impact, focusing both on the circularity of material and natural resources, and on optimising the building's energy performance, with particular emphasis on the active and passive performance of the building envelope.
A thorough reflection on material aspects led to prioritisation of wood (often laminated wood, X-LAM, or LVL) for structural and other additions, ensuring full reversibility and easy disassembly of the systems, while reducing embodied carbon.
Ecological considerations prioritised recovery, storage, and reuse of rainwater from rooftops and nearby green areas, and the reuse of grey water, with part of the purified water being repurposed for non-potable uses and part for technical systems. After an initial filtration, specific systems equipped with heat exchangers, connected to the centralised heating system or to evaporative cooling towers, recover a portion of the energy, reducing both winter and summer climate control consumption.
The optimisation of energy performance, combined with the integration of both passive and active solutions tailored to each scenario and approach, stems from the type of solar installation, favouring BIPV (Building Integrated Photovoltaic) in roofs or façades. Innovative photovoltaic systems are experimented with to further reduce the embodied carbon of panels and increase their productivity.

Intervention scenarios and technological-environmental design choices
Intervention scenario 1 (Fig. 2) incorporates the planned additional volumes and those removed from the existing second level, defining a new third level. Despite having a low level of morphological integration and high recognisability of the intervention, it allows for increased exposure to sunlight throughout the year. The second

02 | Esploso assonometrico della soluzione progettuale relativa allo Scenario 1, che combina un atrio bioclimatico con BIPV in copertura, con indicazione dei livelli raggiunti rispetto ai gradienti di integrazione morfologica, riconoscibilità dell'intervento e di integrazione delle tecnologie solari, autori con M. R. Abiri, W. Demiss, C. Moretti, S. Moyano

Axonometric exploded view of the design solution for Scenario 1, combining a bioclimatic atrium with BIPV on the roof, with an indication of the levels achieved with respect to morphological integration, recognisability of the intervention and integration of solar technologies, the authors with M. R. Abiri, W. Demiss, C. Moretti, S. Moyano

02 |



floor, completely emptied, with a pilotis floor made of laminated wood, provides access to the third level via connections enclosed within a bioclimatic atrium. This atrium channels natural cross-ventilation through the spaces and moves it, with an upward flow, to the top, improving passive cooling conditions and natural ventilation, reducing thermal loads and active system inputs. The building is powered by a next-generation photovoltaic system, fully integrated into the roof with ceramic photovoltaic tiles, supported by kinetic flooring and a micro-wind turbine system in the outdoor areas (Fig. 3). The active renewable energy solutions generate 46,339.51 kWh/year, fully covering the consumption of 46,157.00 kWh/year. The CO_2 emissions avoided by replacing fossil fuels with renewable energy sources amount to 11,871.60 kg of CO_2/year.
Intervention Scenario 2 (Fig. 4) introduces volumes into the structure of the existing building, alongside a subtraction for separation, while maintaining the façade surface restored to its origi-

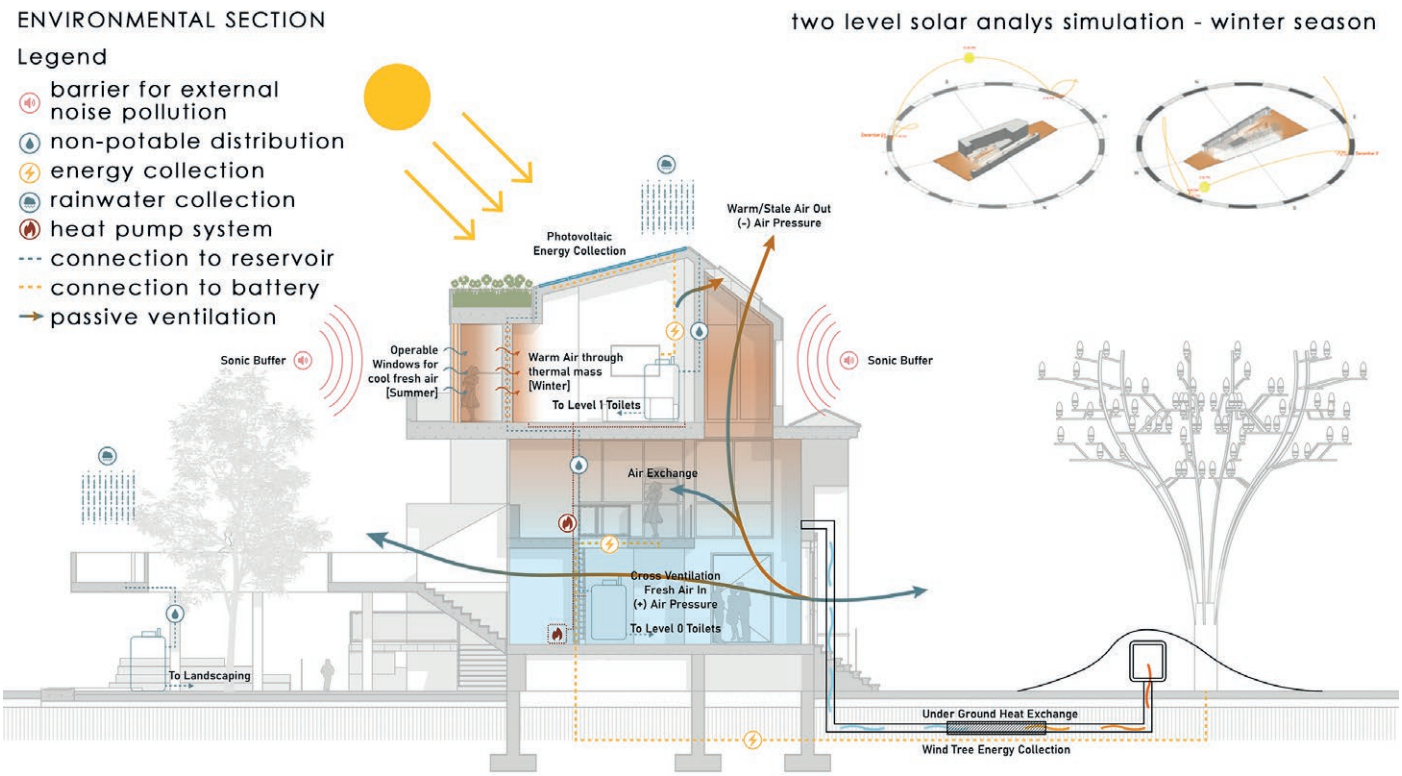
03 | Sezione ambientale che sintetizza le soluzioni progettuali bioclimatiche passive e le strategie di intervento attive sull'Ex Filanda nello Scenario 1, autori con M. R. Abiri, W. Demiss, C. Moretti, S. Moyano

Environmental section summarising passive bioclimatic design solutions and active intervention strategies on the Ex Filanda in Scenario 1, the authors with M. R. Abiri, W. Demiss, C. Moretti, S. Moyano

a fronte di un consumo di 54.054,00 kWh/anno, coperto totalmente. Il surplus del 21% viene inserito in rete e usato per l'approvvigionamento elettrico delle aree a parco e degli edifici circostanti. Le emissioni di CO_2 evitate ammontano a 13.902,70 kg di CO_2/anno.

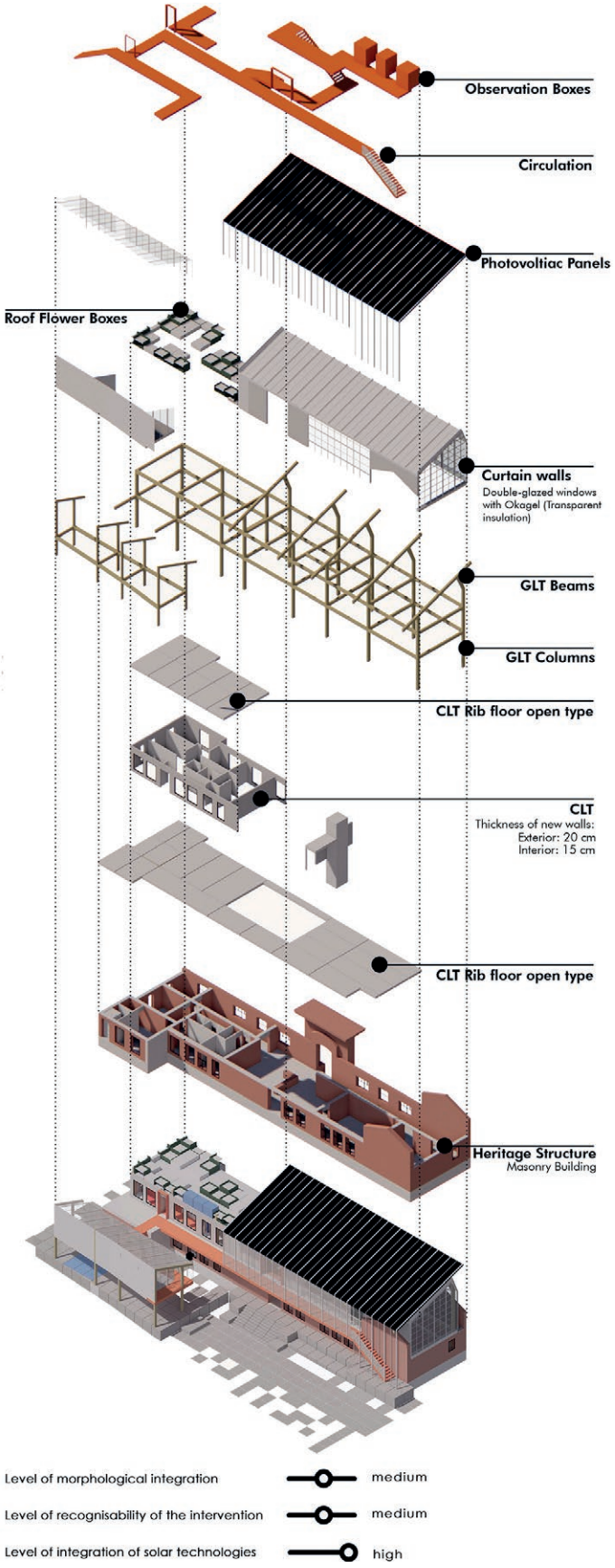
Lo scenario 3 (Fig. 5) propone nuove volumetrie, mantenendo la struttura dell'edificio, aggiunte in copertura, che replicano quella originaria integrando però un secondo livello anche nella zona centrale, tra le due ali. L'alto livello di integrazione morfologica e il corrispondente medio livello di riconoscibilità dell'intervento, permette di mantenere invariata la morfologia originaria inserendo contrasti materici per rendere riconoscibile l'intervento di riqualificazione e di adattamento alle esigenze contemporanee. I comportamenti passivi e attivi dell'edificio sono valorizzati attraverso l'analisi dei fattori di riflettanza solare e luminosa e del fattore di luce diurna. L'inserimento di una *buffer zone*, vetrata e apribile, garantisce la ventilazione naturale durante l'anno. Dal punto di vista impiantistico, sulle falde sono integrate tegole fotovoltaiche di ceramica di nuova generazione che garantiscono una produzione pari a 88.704,46 kWh/anno, a fronte di un consumo dell'edificio di 110.782,00 kWh/anno, che viene coperto per l'80%. Le emissioni di CO_2 evitate ammontano a 22.814,79 kg di CO_2/anno.

Lo scenario 4 (Fig. 6) integra al secondo livello una nuova volumetria con copertura piana, modificando la configurazione dell'edificio preesistente. Si raggiunge un basso livello di integrazione morfologica, un alto livello di riconoscibilità dell'intervento, per la modifica della tipologia e della morfologia di copertura e delle facciate. È inserito un atrio bioclimatico che favorisce la ventilazione naturale incrociata degli ambienti che vi si affacciano e la muove ascensionalmente, per effetto camino, in sommità, migliorando il comfort termo-igrometrico negli ambienti e riducendo i carichi termici estivi e i conseguenti apporti attivi impiantistici. La copertura dell'esistente, quasi totalmente crollata, è trasformata in tetto verde, interrotto in corrispondenza dell'atrio bioclimatico vetrato. In combinazione con i sistemi passivi, dal punto di vista attivo, in una prima fase sono stati inseriti pannelli fotovoltaici in vetro opaco colorato integrati nella copertura verde, ma, sulla base delle simulazioni energetiche, sono state inserite ulteriori tegole fotovoltaiche vetrate trasparenti in corrispondenza della copertura opportunamente inclinata dell'atrio bioclimatico ed inserito un rivestimento tessile in facciata al secondo livello che, nel lato favorevole, a carattere sperimentale, viene sostituito con un rivestimento fotovoltaico in DSSC (*dye-sensitized solar cell*). L'insieme delle tre differenti tipologie solari fotovoltaiche ga-



04 | Esploso assonometrico della soluzione progettuale relativa allo Scenario 2, che adotta una falda con BIPV ventilata, con indicazione dei livelli raggiunti rispetto ai gradienti di integrazione morfologica, riconoscibilità dell'intervento e di integrazione delle tecnologie solari, autori con S. Baranian Kasir, N. Ommi, M._Shojaei

Axonometric exploded view of the design solution for Scenario 2, adopting a ventilated BIPV pitch, with an indication of the levels achieved with respect to morphological integration, recognisability of the intervention and integration of solar technologies, the authors with S. Baranian Kasir, N. Ommi, M._Shojaei



rantiscono una produzione pari a 52.004,36 kWh/anno a fronte di un consumo dell'edificio di 83.878,00 kWh/anno, che viene coperto per il 62%. Le emissioni di CO_2 evitate ammontano a 13.375,52 kg di CO_2/anno.

Lo scenario 5 (Fig. 7) infine aggiunge nuove volumetrie internamente alle murature del primo livello, combinando nuove superfici in facciata che modificano la configurazione originaria. Il basso livello di integrazione morfologica si combina ad un alto livello di riconoscibilità dell'intervento per la scelta di elementi lignei alternati alle superfici vetrate. In questo scenario il legno, oltre ad essere strutturale, è utilizzato anche come rivestimento di facciata del secondo livello. Seguendo la logica del 'box in the box', ciascun ambiente è sconnesso dagli altri e coperto da un tetto a prisma piramidale rovesciato che convoglia le acque meteoriche e la luce naturale all'interno di piccoli patii centrali. Uno dei volumi è interamente vetrato, configurandosi come serra solare con *energy glass*. La copertura dei prismi è realizzata con BIPV che produce 37.707,38 kWh/anno a fronte di un consumo di 71.146,00 kWh/anno, coperto per il 53%. Le emissioni di CO_2 risparmiate ammontano a 9.698,34 kg di CO_2/anno.

Discussione dei risultati

I cinque scenari di intervento per la riqualificazione dell'Ex Filanda mostrano ciascuno con un approccio specifico per migliorare l'efficienza energetica e le prestazioni ambientali, e raggiungono diversi livelli rispetto ai gradienti di integrazione morfologica, di integrazione delle tecnologie solari e di riconoscibilità, come riportato nelle Figure 2-7. Gli scenari sono stati anche valutati e confrontati in base alle prestazioni energetiche

nal state. This achieves a medium level of morphological integration and recognisability of the intervention, which stems from preserving the existing façade while recessing the new blocks made of X-LAM and structural glass. It maximises energy performance by optimising parameters related to solar incidence, exposure, and orientation of the photovoltaic system integrated into the sloped roof, designed through daylighting modelling and thermodynamics. The roof features an air gap for natural ventilation and passive cooling through upward air movement. The BIPV, made with next-generation coloured glass photovoltaic tiles, is integrated into the south-facing sloped roof (azimuth 2° – tilt 15°) and generates 65,460.32 kWh/year, fully covering a consumption of 54,054.00 kWh/year. The 21% surplus is fed into the grid and used to supply electricity to the park areas and surrounding buildings. The CO_2 emissions avoided amount to 13,902.70 kg of CO_2/year.

Intervention Scenario 3 (Fig. 5) proposes new volumes while maintaining the structure of the building. They are added to the roof in a way that replicates the original design, but with the integration of a second level in the central area between the two wings. The high level of morphological integration and the corresponding medium visibility level of the intervention allow the original morphology to remain unchanged, while introducing material contrasts to make the intervention of refurbishment and adaptation to contemporary needs identifiable. The building's passive and active behaviours are enhanced through the analysis of solar and luminous reflectance factors and the daylight factor. The insertion of a glass and operable buffer zone ensures natural ventilation throughout the year. From the systems perspective, next-generation ceramic photovoltaic tiles are integrated into

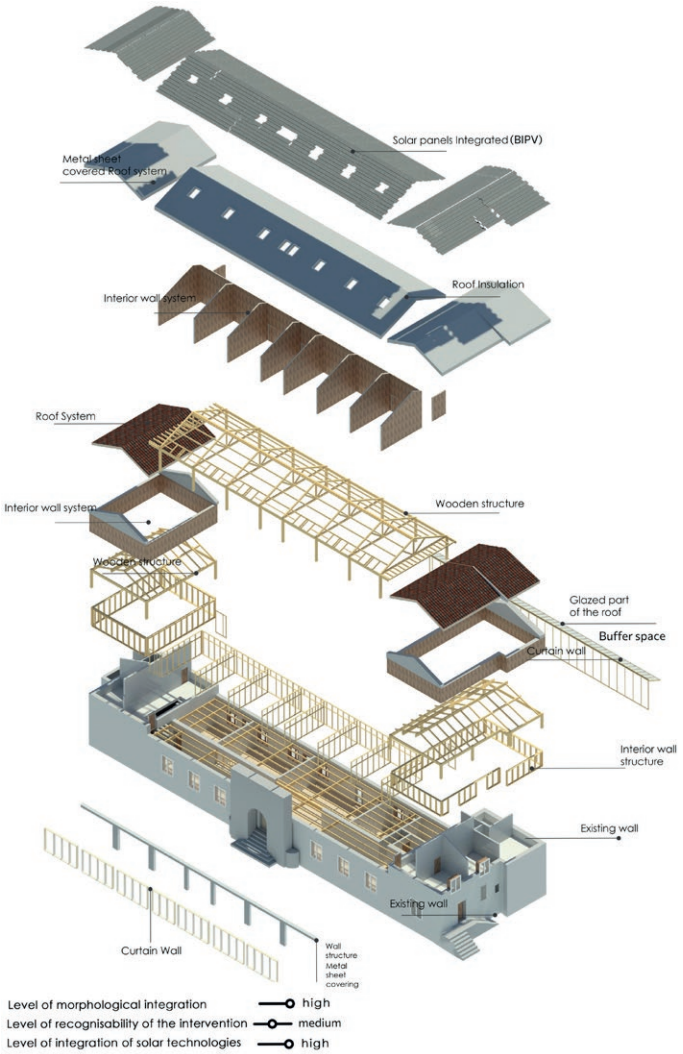
05 | Esploso assonometrico della soluzione progettuale relativa allo Scenario 3, che combina un *buffer space* con una copertura con BIPV, con indicazione dei livelli raggiunti rispetto ai gradienti di integrazione morfologica, riconoscibilità dell'intervento e di integrazione delle tecnologie solari, autori con A. Karavolia

Axonometric exploded view of the design solution for Scenario 3, combining a buffer space with a BIPV roof, showing the levels achieved with respect to the gradients of morphological integration, recognisability of the intervention and integration of solar technologies, authors with A. Karavolia

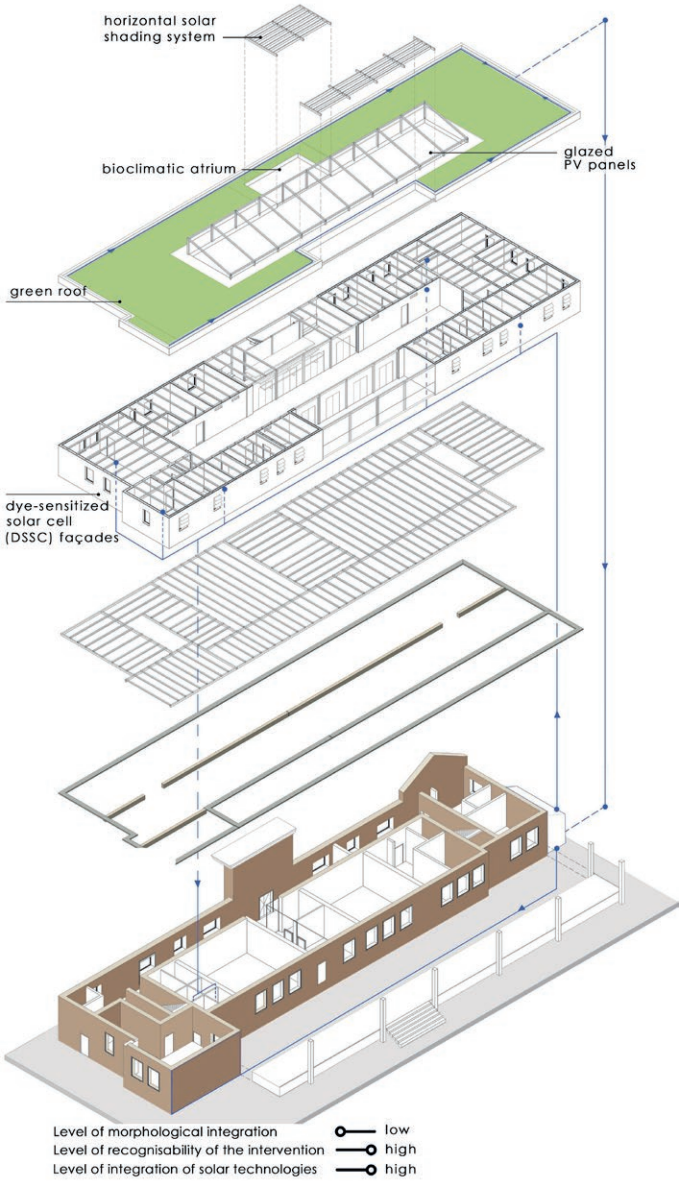
06 | Esploso assonometrico della soluzione progettuale relativa allo Scenario 4, che combina un atrio bioclimatico con facciata DSSC, con indicazione dei livelli raggiunti rispetto ai gradienti di integrazione morfologica, riconoscibilità dell'intervento e di integrazione delle tecnologie solari, autori con M. Seyedabadi, P. Banaszek, B. Babaei

Axonometric exploded view of the design solution for Scenario 3, combining a bioclimatic atrium with a DSSC façade, with an indication of the levels achieved with respect to morphological integration, recognisability of the intervention and integration of solar technologies, the authors with M. Seyedabadi, P. Banaszek, B. Babaei

05 |



| 06



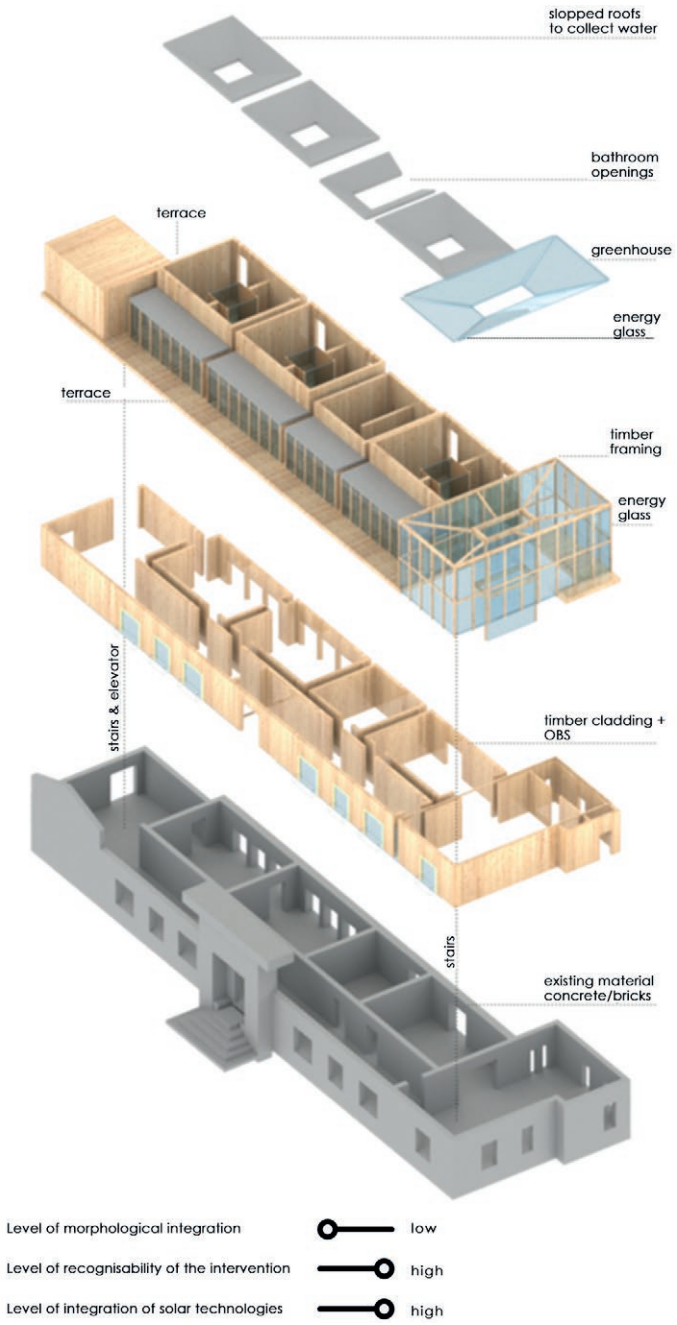
the roof slopes, ensuring a production of 88,704.46 kWh/year, covering 80% of the building's consumption of 110,782.00 kWh/year. The CO_2 emissions avoided amount to 22,814.79 kg of CO_2/year.

Intervention Scenario 4 (Fig. 6) integrates a new volume with a flat roof at the second level, altering the configuration of the existing building. This scenario achieves a low level of morphological integration and a high level of visibility due to modifications in roof type and façade morphology. A bioclimatic atrium is introduced, promoting natural cross-ventilation in adjacent spaces and moving the air upward, utilising the chimney effect to improve thermo-hygrometric comfort and reduce summer thermal loads and active system inputs. The original collapsed roof has been converted into a green roof, interrupted at the bioclimatic atrium. Active systems include opaque coloured glass photovoltaic panels integrated into the green roof. Based on energy simulations, additional transparent photovoltaic tiles were installed on the inclined roof of the atrium, alongside a textile façade at the second level, which, on favourable sides, is experimentally replaced by a DSSC (dye-sensitised solar cell) photovoltaic covering. The combination of three different solar photovoltaic technologies produces 52,004.36 kWh/year, covering 62% of the building's total consumption of 83,878.00 kWh/year. Total CO_2 emissions saved are 13,375.52 kg of CO_2/year.

Intervention Scenario 5 (Fig. 7) adds new volumes internally within the masonry of the first level, combining new façade surfaces that modify the original configuration. The low level of morphological integration is paired with a high visibility level of the intervention, achieved by the choice of wooden elements alternated with glass surfaces. In this scenario, wood, in addition to being structural, is also used as the façade cladding of the second level. Following the 'box in the box' rationale, each room is disconnected from the others and covered by an inverted pyramid-shaped roof that channels rainwater and natural light into small central courtyards. One of the volumes is fully glazed, functioning as a solar greenhouse with energy glass. The roof of the prisms is made

07 | Esploso assonometrico della soluzione progettuale relativa allo Scenario 4, che combina una soluzione 'box in the box' con la presenza di una serra solare dotata di *energy glass*, con indicazione dei livelli raggiunti rispetto ai gradienti di integrazione morfologica, riconoscibilità dell'intervento e di integrazione delle tecnologie solari, autori con M. Abdulghani

Axonometric exploded view of the design solution for Scenario 4, which combines a 'box in the box' solution with the presence of a solar greenhouse equipped with energy glass, with an indication of the levels achieved with respect to morphological integration, recognisability of the intervention, and integration of solar technologies, authors with M. Abdulghani



e risparmio di CO_2, in ottica di neutralità climatica (Fig. 8) attraverso gli indicatori: consumi energetici globali; quantità di energia prodotta da fonte energetica rinnovabile; calcolo delle emissioni di CO_2 non emesse in atmosfera.
Gli scenari variano in base agli approcci progettuali scelti per l'integrazione con il contesto storico e alle soluzioni adottate per migliorare le prestazioni energetiche. Lo Scenario 2 si distingue per un ottimo equilibrio tra integrazione e prestazioni, generando un surplus energetico. Lo Scenario 3 risalta per il più alto risparmio di CO_2, mentre lo Scenario 1 è energeticamente autosufficiente. Lo Scenario 4 combina soluzioni innovative con un impatto significativo sulla morfologia, mentre lo Scenario 5 opta per una riqualificazione altamente efficace dal punto di vista della qualità ambientale e spaziale, ma meno efficiente dal punto di vista energetico.

Conclusioni

Le implicazioni della ricerca sono molteplici e significative, da quelle socio-culturali, a quelle scientifiche – grazie all'avanzamento delle conoscenze e alla forte innovazione tecnologica –, e ambientali, in relazione all'opportunità di riqualificazione degli edifici storici in nearly *Zero Energy Historic Buildings* (*nZEHB*), con l'obiettivo di *Carbon Neutrality*. I destinatari, dai tecnici progettisti ai policy makers, possono beneficiare di nuove conoscenze, tecnologie e approcci per la neutralità climatica del patrimonio storico in ambito urbano.
La ricerca intende il patrimonio storico come risorsa strategica per l'integrazione sinergica di comportamento passivo e sistemi attivi, per il controllo del comfort termo-igrometrico indoor e outdoor e la produzione di energia rinnovabile, attraverso un

of BIPV, generating 37,707.38 kWh/year, covering 53% of the building's consumption of 71,146.00 kWh/year. The CO_2 emissions saved amount to 9,698.34 kg of CO_2/year.

Discussion of the results

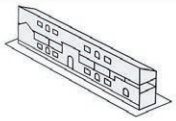
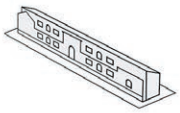
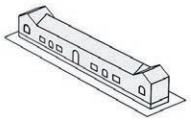
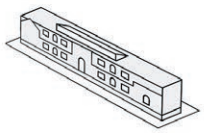
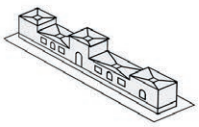
Each of the five intervention scenarios for the redevelopment of the Ex Filanda show a specific approach to improve energy efficiency and environmental performance, achieving different levels with respect to morphological integration, solar technology integration and recognisability, as shown in figures 2-7. The scenarios were also evaluated and compared based on energy performance and CO_2 savings, in a climate-neutral perspective (Fig. 8) through the following indicators: overall energy consumption; amount of energy produced from renewable energy sources; and calculation of CO_2 emissions not emitted into the atmosphere.
The scenarios vary according to the design approaches chosen for integration with the historical context and the solutions adopted to improve energy performance. Scenario 2 stands out for an excellent balance between integration and performance, generating an energy surplus. Scenario 3 stands out for the highest CO_2 savings, while Scenario 1 is energy self-sufficient. Scenario 4 combines innovative solutions with a significant impact on morphology, while Scenario 5 opts for highly effective redevelopment in terms of environmental and spatial quality, but less energy-efficient.

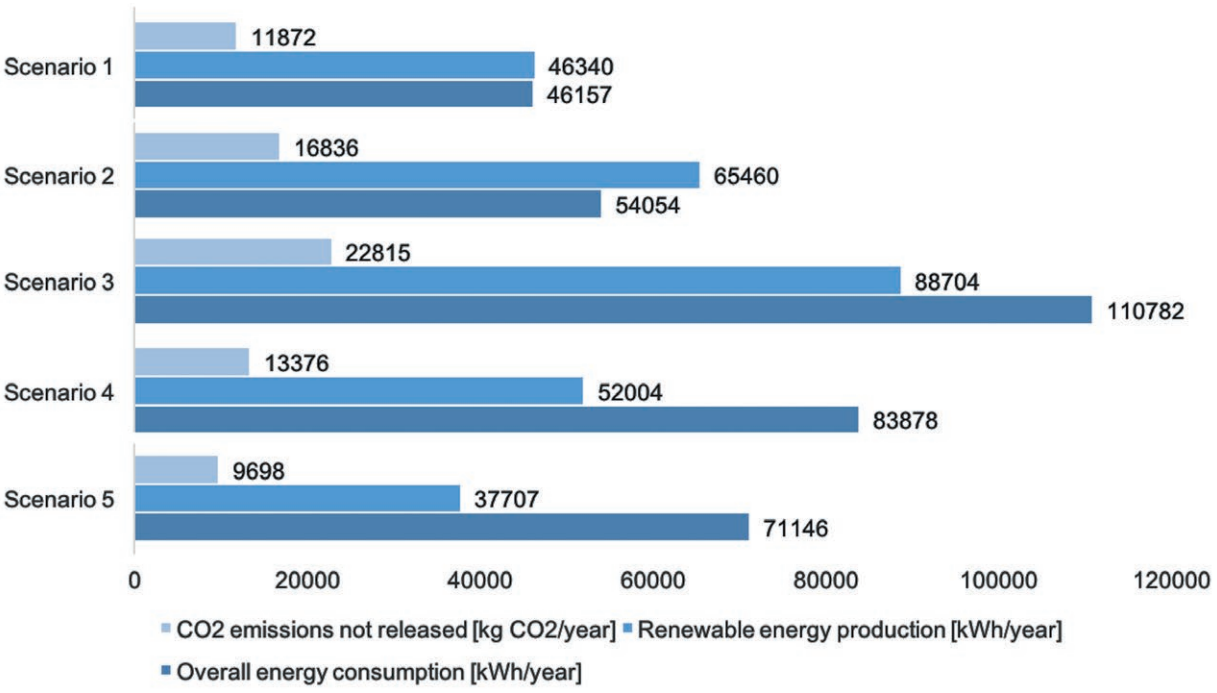
Conclusions

The implications of the research are multiple and significant, from socio-cultural, to scientific – thanks to the advancement of knowledge and strong technological innovation -, and environmental, in relation to the opportunity of upgrading historic buildings to Nearly Zero Energy Historic Buildings (nZEHB), with the goal of Carbon Neutrality. Research beneficiaries, from architects to policy makers, can benefit from new knowledge, technologies and approaches for the climate neutrality of historic buildings in urban contexts.
The research interprets the built heritage as a strategic resource for the synergistic integration of passive behaviour and active systems, for the control of indoor and outdoor thermo-hygrometric comfort, and the production of renewable energy through a circular use of materials and water resources. However, the implementation of such strategies is a challenge in light of outdated regulations. Furthermore, the combination of multiple passive and active strategies requires a complex level of planning and management. Therefore, future research development is expected to use advanced predictive models and digital simulations to optimise passive and active strategies by predicting building performance under different climate scenarios and operating conditions.

08 | Tabella comparativa dei risultati (in alto) e diagramma a barre (in basso) che evidenziano consumi energetici, energia da FER, percentuale di copertura FER ed emissioni di CO_2 evitate. Lo Scenario 3 risulta il più performante per prestazioni energetiche ed emissioni, mentre lo Scenario 1 è il meno efficiente

Comparative table of results (top) and bar chart (bottom) illustrating energy consumption, renewable energy (RE) contribution, RE coverage percentage, and CO_2 emissions not released. Scenario 3 demonstrates the highest performance in terms of energy efficiency and emissions reduction, whereas Scenario 1 is the least efficient

		Overall energy consumption [kWh/year]	Renewable energy production [kWh/year]	Energy consumption covered by RES [%]	CO_2 emissions not released [kg CO_2/year]
	Scenario 1	46,157.00	46,339.51	100	11,871,60
	Scenario 2	54,054.00	65,460.32	121	16,836.31
	Scenario 3	110,782.00	88,704.46	80	22,814.79
	Scenario 4	83,878.00	52,004.36	62	13,375.52
	Scenario 5	71,146.00	37,707.38	53	9,698.34



uso circolare dei materiali e della risorsa idrica. Tuttavia, l'implementazione di tali strategie rappresenta una sfida alla luce di normative non aggiornate. Inoltre, la combinazione di molteplici strategie passive e attive richiede un livello pianificatorio e gestionale complesso. Si prevede quindi, per lo sviluppo futuro della ricerca, l'uso di modelli predittivi avanzati e simulazioni digitali per ottimizzare le strategie passive e attive, prevedendo le prestazioni degli edifici in diversi scenari climatici e condizioni operative.

NOTE

[1] Fonte: BPIE – Buildings Performance Institute Europe, www.bpie.eu.

[2] Dati da benchmark estrapolati dal Piano Energetico Regionale (PER) della Regione Lazio: https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2022-06/per-misure-adottate-monitoraggio.pdf

[3] Cfr. sito web del Concorso con il progetto vincitore dello studio IT'S: https://www.c40reinventingcities.org/en/professionals/winning-projects/ex-filanda-1375.html.

ACKNOWLEDGEMENT

Il contributo sintetizza esiti di ricerche svolte in continuità dal GdR nei seguenti progetti: Ricerca di Ateneo 'NZEHB. L'edificio storico nello scenario della transizione ecologica ed energetica. Approccio circolare, miglioramento energetico, riuso adattivo', 2022-2024, P.I. S. Baiani, GdR P. Altamura, G. Turchetti, G. Romano; Ricerca PNRR 'NEST', PE 2, Spoke 8, Linea Tematica 3, P.I. "Sapienza" Prof. F. Tucci, GdR S. Baiani; D. D'Olimpio; G. Romano (RTDA PNRR).

REFERENCES

Ahmed, N.M., Altamura, P., Giampaoletti, M., Fahd, A. H. and Abdelaziz Farouk, A. M. (2024), "Optimizing human thermal comfort and mitigating the urban heat island effect on public open spaces in Rome, Italy through sustainable design strategies", *Scientific Reports,* Vol. 14, p. 19931. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-024-65794-8 (Accessed on 08/09/2024).

Ambrogio, K. and Zuppiroli, M. (2013), *Energia e restauro. Il miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale, tra istanze conservative e prestazionali*, FrancoAngeli, Milano.

Azouz, M. and Elariane, S. (2023), "Towards energy efficiency: retrofitting existing office buildings using smart technologies", *Journal of Engineering and Applied Science*, Vol. 70, p. 147. Available at: https://doi.org/10.1186/s44147-023-00327-0 (Accessed on 06/09/2024).

Baiani, S., Altamura, P., Turchetti, G. and Romano, G. (2024), "Energy transition e circular adaptive reuse del patrimonio industriale. Il caso dell'Ex Snia a Roma | Energy transition and circular adaptive reuse of industrial heritage. The case of the Ex Snia in Rome", *Agathón International Journal of Architecture, Art and Design*, Vol. 15, pp. 190-203. Available at: https://doi.org/10.19229/2464-9309/15152024 (Accessed on 06/09/2024).

Baiani, S., Altamura, P. and Turchetti, G. (2024), "Circular Contemporary Heritage. Design Experimentations on Conservation and Reuse Aiming at Material Resource Efficiency and Decarbonization", in Bartolomei, C., Ippolito, A. and Vizioli, S.H.T. (Eds.), *Contemporary Heritage Lexicon*, pp. 435-478, Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-61245-9_20 (Accessed on 06/09/2024).

Baiani S., Altamura P., Lucchi E. and Romano G. (2023), "Integration of solar technologies in historical buildings: construction of an evolutionary framework of good practices", in Sayigh, A. (Ed.), *Mediterranean Architecture and the Green-Digital Transition. Innovative Renewable Energy*, Springer, Cham, pp. 253-263. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-33148-0_21 (Accessed on 08/09/2024).

NOTES

[1] Source: BPIE – Buildings Performance Institute Europe, www.bpie.eu.

[2] Benchmark data drawn from the Lazio Region's Regional Energy Plan (PER): https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2022-06/per-misure-adottate-monitoraggio.pdf.

[3] See the Competition website with the winning project by IT'S Studio: https://www.c40reinventingcities.org/en/professionals/winning-projects/ex-filanda-1375.html.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper summarises outcomes of research activities carried out in continuity by the RG in the following projects: University Research 'NZEHB. The historic building in the scenario of the ecological and energy transition. Circular approach, energy improvement, adaptive reuse', 2022-2024, P.I. S. Baiani, RG P. Altamura, G. Turchetti, G. Romano; PNRR research 'NEST', PE 2, Spoke 8, Thematic Line 3, P.I. "Sapienza" Prof. F. Tucci, RG S. Baiani; D. D'Olimpio; G. Romano (RTDA PNRR).

Barbieri, P. (2020), "Il significato delle città", in *Eco Web Town. Journal of Sustainable Design*, Vol. 22, ISSN 2039-2656.

Buda, A. (2023), *Conservazione ed efficienza energetica dell'edilizia storica. Uno strumento operativo per le scelte di progetto*, Firenze, Nardini Editore.

Cillari, G., Fantozzi, F. and Franco, A. (2021), "Passive Solar Solutions for Buildings: Criteria and Guidelines for a Synergistic Design", *Applied Science*, Vol. 11, p. 376. Available at: https://doi.org/10.3390/app11010376 (Accessed on 06/09/2024).

European Commission (2019), *A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, COM (2020) 662 final. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0662 (Accessed on 07/09/2024).

European Commission (2020), *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*', COM (2020) 98 final. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC0098 (Accessed on 07/09/2024).

European Commission (2021), '*Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, COM (2021) 550 final. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550 (Accessed on 07/09/2024).

Foster, G. (2020), "Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 152, p. 104507. Available at: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104507 (Accessed on 06/09/2024).

Hastings, R. (2013), "Passive Solar Heating in Built Environment", in Loftness, V. and Haase, D. (Eds.), *Sustainable Built Environments*, Springer, New York. Available at: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5828-9_372 (Accessed on 06/09/2024).

Jonasson, J., Faith-Ell, C., Carlman, I. and Englund, O. (2024), "The environmental performance of zero-emission buildings in a fossil-free energy system", *Energy Efficiency*, Vol. 17, pp. 75. Available at: https://doi.org/10.1007/s12053-024-10253-6 (Accessed on 08/09/2024).

Knuutila, M., Kosonen, A., Jaatinen-Värri, A. and Laaksonen, P. (2022), "Profitability comparison of active and passive energy efficiency improvements in public buildings", *Energy Efficiency*, Vol. 15, pp. 38. Available at: https://doi.org/10.1007/s12053-022-10046-9 (Accessed on 06/09/2024).

Lucchi E., Baiani S. and Altamura, P. (2023), "Design criteria for the integration of active solar technologies in the historic built environment. Taxonomy of international recommendations", *Energy and Buildings*, Vol. 278, pp. 112651-112667. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112651 (Accessed on 06/09/2024).

Mazzarella, L. (2015), "Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view", *Energy and Buildings*, Vol. 95, pp. 23-31. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.073 (Accessed on 08/09/2024).

Petraroia, P. and Sessa, V. M. (2023), "Miglioramento energetico e conservazione del patrimonio culturale", in *Aedon*, Vol. 3, pp. 375-387. Available at: https://doi.org/10.7390/113082 (Accessed on 08/09/2024).

Polo López, C.S., Lucchi, E., Leonardi, E., Durante, A., Schmidt, A. and Curtis, R. (2021), "Risk benefit assessment scheme for renewable solar solutions in traditional and historic buildings", *Sustainability,* Vol. 13, p. 5246. Available at: https://doi.org/10.3390/su13095246 (Accessed on 06/09/2024).

Pracchi, V. and Lucchi, E. (Eds.) (2017), *Efficienza energetica e patrimonio costruito*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna, pp. 70-72.

Webb, A. L. (2017), "Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 77, pp. 748-759. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.145 (Accessed on 06/09/2024).

Verde pensile, tecnologie digitali e gestione dell'acqua piovana

Maria Antonia Barucco[1], https://orcid.org/0000-0002-5018-1386 barucco@iuav.it
Marta Possiedi[1], https://orcid.org/0000-0002-0474-3237 mpossiedi@iuav.it
Fausto Barbolini[2], https://orcid.org/0000-0002-8642-7763 fausto.barbolini@unibo.it
Federica Crosato[1], https://orcid.org/0009-0004-9719-9921 fcrosato1@iuav.it
[1] Dipartimento di Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia, Italia
[2] Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Italia

Abstract. La lotta ai cambiamenti climatici è una priorità. Le normative definiscono vincoli e limitazioni e la sensibilità diffusa svolge un'azione importante nello sviluppo di progetti via via più attenti alla relazione tra costruito e ambiente. Le trasformazioni del territorio sono sia causa che effetto di questi cambiamenti e sono direttamente legate all'aumento del rischio idrogeologico di alcune aree. D'altro canto, l'evoluzione delle tecnologie e l'innovazione legata all'implementazione di sistemi intelligenti consentono lo sviluppo di nuove soluzioni. Lo studio di sistemi a verde pensile innovativi e lo sviluppo di strategie progettuali fondate sulla metodologia BIM attestano migliorie nella gestione dell'acqua meteorica e nella mitigazione degli eventi climatici estremi.

Parole chiave: *Blue green roof*; BIM; Gestione acqua piovana; Invarianza idraulica; Campi prova.

Introduzione

L'urgenza di rivedere i criteri di progettazione e gestione del costruito nella loro interazione con l'ambiente è amplificata dagli effetti critici connessi al cambiamento climatico: emblematici sono i danni dovuti alle bombe d'acqua e alla siccità. Per fare questo è necessario ricorrere a modelli dinamici per la progettazione.

L'uso del suolo per la realizzazione di strutture urbane corrisponde generalmente alla sua impermeabilizzazione[1] e il suolo naturale è un bene di estrema complessità: processi fisici, chimici e biologici agiscono nel corso del tempo e definiscono strutture fondamentali per gli ecosistemi. Un suolo di qualità è in grado di assicurare funzioni ecologiche, economiche e sociali: la posizione definita dall'UE nel 2011 prevede che entro il 2050 si riesca a registrare un consumo di suolo pari a zero. L'azzeramento del consumo di suolo netto significa evitare l'impermeabilizzazione di aree agricole e di aree aperte anche in ambito urbano e, per compensare, è necessario operare la rinaturalizzazione di un'area di estensione uguale o superiore che possa fornire i servizi ecosistemici dei suoli naturali. Anche il recente regolamento per ripristinare gli ecosistemi degradati converge su questi temi (Consiglio UE, 2023).

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021) misura il territorio secondo tre scenari di rischi individuando aree allagabili a seguito di eventi con tempi di ritorno compresi fra 20 e 50 anni (alto rischio), fra 100 e 200 anni (medio rischio) e superiori a 200 anni (basso rischio). Solo in Veneto nelle zone ad alto rischio risiedono 422.659 persone, insistono 96.241 edifici e operano 41.112 industrie. In questo contesto il progetto di ricerca[2] Blue Green Roof (BGR) finanziato dalla Regione Veneto ha testato una tecnologia innovativa di verde pensile (Fig. 1).

Il BGR raccoglie le piogge, limita gli effetti negativi delle bombe d'acqua e consente di gestire le risorse idriche accumulate tramite tecnologie IoT. Per raggiungere questi traguardi e calibrare le prestazioni del sistema tecnologico sono stati installati sei prototipi di verde pensile[3] su un edificio a San Donà di Piave (VE); ogni campo misura 20 m^2 e l'insieme dei campi prova consente di raccogliere e analizzare circa 5000 dati al giorno[4] che vengono rilevati tramite sonde e sensori al fine di registrare i comportamenti dei prototipi e i dati meteo (Possiedi, 2022). I

Hanging green, digital technologies and stormwater management

Abstract. Addressing climate change is a critical priority. Regulatory frameworks establish constraints and limitations, while growing societal awareness significantly influences the evolution of projects that prioritise the interaction between natural and built environments. Land use changes cause these dynamics and result from them, often contributing to increased hydrogeological risks in specific regions. Moreover, advancements in technology and the emergence of intelligent systems enable the creation of innovative solutions. Research on cutting-edge green roof systems and the integration of design strategies using Building Information Modelling (BIM) methodologies demonstrate measurable progress in stormwater management and the mitigation of extreme weather events.

Keywords: Blue green roof; Dynamic model; Stormwater management; Hydraulic invariance; Test fields.

Introduction

The critical effects of climate change, such as severe damage caused by extreme rainfall events and droughts, underscore the urgency of revising the design and management criteria of the built environment in its interaction with the natural environment. This requires the implementation of adaptive models in the design process.

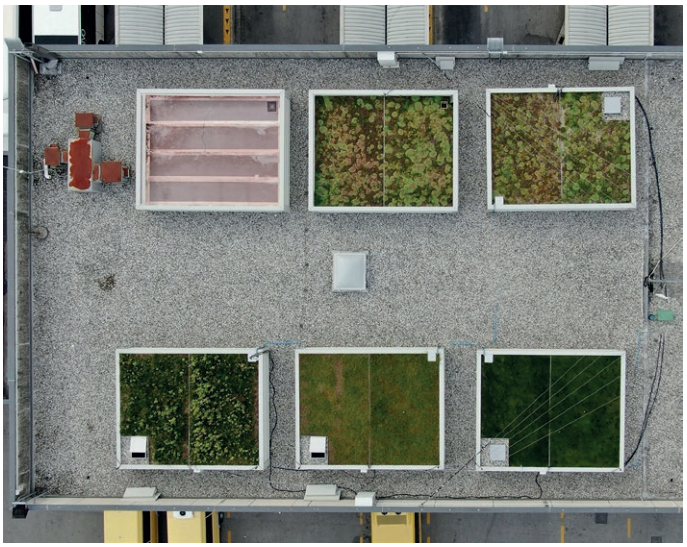
Urban development often leads to the sealing of land, replacing natural soils with impermeable surfaces[1]. However, natural soil is a highly complex and valuable resource, shaped over time by physical, chemical, and biological processes that form the foundation of ecosystems. High quality soil plays a vital role in supporting ecological, economic, and social functions. Acknowledging its critical value, the European Union set a target in 2011 to attain zero net soil consumption by 2050. This objective involves preventing the sealing of agricultural and open areas, including within urban settings, and compensating for land consumption by re-naturalising areas of equal or greater size that can restore the ecosystem services provided by natural soils. Recent regulations, such as the 2023 EU Council directive on restoring degraded ecosystems, align closely with these objectives, emphasising the critical need for sustainable land use practices and ecological restoration.

The Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021) evaluates flood risk across three scenarios, identifying areas subject to inundation based on events with return periods of 20–50 years (high risk), 100–200 years (medium risk), and over 200 years (low risk). In the Veneto region alone, 422,659 residents live in high risk zones, where 96,241 buildings

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16547

01 | I campi-prova realizzati sul tetto dell'edificio ATVO Azienda Trasporti Veneto Orientale. Il BGR è in basso a destra nell'immagine. Crdt. Daku

The test fields on the roof of the ATVO (Azienda Trasporti Veneto Orientale) building. The BGR is at the bottom right of the picture. Crdt. Daku



dati vengono raccolti a partire dalla primavera 2020 e la loro successione consente di sviluppare analisi sul lungo periodo, progressive migliorie e potenziali sviluppi della ricerca. Le analisi dei big data attestano che:

1. drenaggio e laminazione dovuti al sistema BGR sono efficaci anche per eventi piovosi molto intensi, come confermano le controverifiche del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale;
2. il funzionamento dei BGR è sperimentalmente scalabile attraverso un modello informatizzato BIM: gli effetti di laminazione e deflusso delle acque piovane possono quindi essere messi a confronto con le normative vigenti e definire un metodo innovativo di monitoraggio dei dati.

Gestione dell'acqua piovana

L'acqua è una risorsa preziosa, scarsa o abbondante a seconda del periodo dell'anno e delle variabili che qualificano il contesto. Negli ultimi decenni il Nord Italia ha sperimentato un cambiamento nei modelli di precipitazione: gli studi (IPCC, 2014) indicano un aumento della variabilità delle piogge con periodi di siccità più prolungati alternati a eventi di pioggia intensa. Inoltre, i modelli climatici (ISPRA, 2019) mostrano un incremento delle temperature medie annue e del ciclo idrologico a causa del riscaldamento globale.

La captazione dell'acqua piovana e il suo uso sono quindi elementi fondamentali nella progettazione e gestione dei contesti urbanizzati, e tale possibilità risulta tanto più importante in considerazione delle politiche volte alla riduzione dei suoli impermeabili e alla rinaturalizzazione (World Bank, 2021).

In riferimento al principio di invarianza idraulica ogni costruzione non deve aumentare il deflusso delle acque meteoriche rispetto alla situazione preesistente: l'equilibrio viene ottenuto attraverso misure di compensazione di varia natura che in Veneto sono regolamentate dal DGR 2948/2009 e dalla LR 11/2004 e che possono essere così riassunte:

- sistemi di drenaggio per trattenere e infiltrare l'acqua piovana localmente (trincee, bacini di laminazione, tetti verdi, pavimentazioni permeabili);
- bacini di accumulo (vasche o serbatoi) per la raccolta delle acque meteoriche che vengono rilasciate lentamente nel sistema di drenaggio o che vengono utilizzate per scopi non potabili;
- opere di manutenzione delle infrastrutture per prevenire problemi di allagamento o sovraccarico del sistema idraulico.

In un centro cittadino densamente urbanizzato o in un'area industriale, l'acqua che non è assorbita dal suolo varia tra il 70 e il 90% del totale e solo il 30% (nella migliore delle ipotesi) riesce a fluire nel sottosuolo. In un territorio agricolo la percentuale

are located, and 41,112 industries operate. The research project Blue Green Roof (BGR), funded by the Veneto Region[2], tested an innovative green roof technology in this context (Fig. 1).

The Blue Green Roof (BGR) system collects rainfall, mitigates the adverse effects of extreme rainfall events, and facilitates the management of stored water resources using IoT technologies. To achieve these goals and fine-tune the system's performance, six green roof prototypes[3] have been installed on a building in San Donà di Piave (VE). Each test field is 20 m² in size, enabling the collection and analysis of about 5,000 data points per day[4]. These data are gathered through sensors to monitor the prototypes' performance alongside meteorological conditions (Possiedi, 2022).

Since spring 2020, continuous data collection has established a solid foundation for conducting long-term analyses, refining system performance, and exploring new research opportunities. Big data analysis provided the following results:

1. The BGR system has demonstrated effective drainage and water lamination capabilities, even during intense rainfall events, as validated by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale;
2. The function of BGR systems is experimentally scalable using a computerised BIM model, enabling the simulation of lamination effects and stormwater runoff. This approach allows for comparisons with current regulations and facilitates the development of an innovative data monitoring method.

Rainwater management

Water is a vital resource, whose availability fluctuates depending on the season and the specific conditions of the surrounding environment. In recent decades, Northern Italy has witnessed significant changes in precipitation patterns. Studies (IPCC, 2014) highlight increasing rainfall variability, characterised by extended drought periods interspersed with intense rainfall events. Furthermore, climate models (ISPRA, 2019) project rising average annual temperatures and intensified hydrological cycles due to global warming.

Given these changes, rainwater capture and utilisation are critical components in the design and management of urbanised areas. This approach aligns with policies advocating for the reduction of impervious surfaces and promoting renaturalisation efforts (World Bank, 2021).

In line with the principle of hydraulic invariance, new developments must ensure that stormwater runoff does not exceed previously existing conditions. Achieving this balance involves the implementation of several compensatory measures, which in Veneto are regulated by DGR 2948/2009 and LR 11/2004. These measures can be summarised as follows:

- Local drainage systems designed to retain and infiltrate rainwater, such as trenches, lamination basins, green roofs, and permeable pavements;
- Storage basins (e.g., tanks or reservoirs) for stormwater collection, enabling its gradual release into the drainage network or repurposing it for non-potable uses;
- Infrastructure maintenance interventions to mitigate flooding risks and prevent overloading the hydraulic system.

In densely urbanised city centres or in-

02 | Rappresentazione del funzionamento di accumulo e riutilizzo dell'acqua piovana con Il BGR. 1 – Accumulo della pioggia all'interno del bacino primano. 2 – trasmissione dell'acqua al bacino secondario a cui attinge il sistema di irrigazione DAKU IRRIGA ®. Crdt. Daku

The operation of water storage and rainwater reuse with the BGR. 1 – Rainwater storage in the primary basin. 2 – Conveyance of water to the secondary basin (the DAKU IRRIGA® irrigation system draws from this secondary basin). Crdt. Daku

non assorbita varia tra il 30 e il 50%, mentre nei territori naturali (foreste, praterie) è contenuta entro il 20% dell'apporto meteorico[5]. Il confronto tra suolo densamente urbanizzato e territorio naturale sancisce un divario molto ampio.

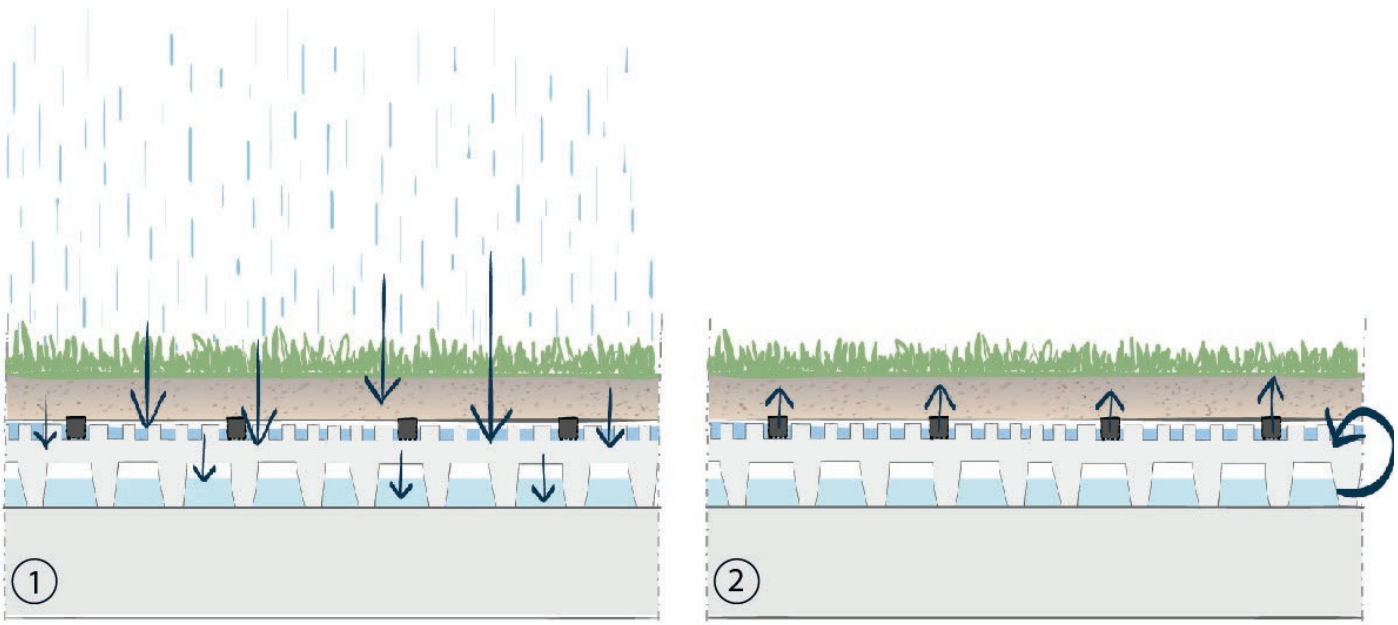
La quantità di acqua che il verde pensile può trattenere varia in base a diversi fattori: alcuni sono più o meno facilmente gestibili con lo sviluppo della stratigrafia tecnica, altri sono variabili di progetto definite dal contesto, come ad esempio il tipo di precipitazione e il clima. Gli standard ISO forniscono delle linee guida generali per la determinazione del coefficiente di deflusso dei tetti verdi: la ISO 13578:2016 e la UNI 11235:2015 definiscono i metodi per calcolare e stimare le prestazioni dello strato colturale impiegato. I test per effettuare queste stime avvengono per pendenze di progetto definite e simulando in laboratorio piogge di 108 mm di acqua in un'ora[6]. Questo test determina il coefficiente di deflusso di uno strato colturale che può attestarsi a 0,6 (per spessori da 8 cm, altezza caratteristica dei tetti verdi estensivi) e che corrisponde ad una capacità di trattenere il 40% dell'acqua piovana; nel caso di spessori medi di 15 cm (altezza caratteristica dei tetti verdi intensivi) il deflusso può attestarsi a 0,35 e nel caso di spessori superiori a 50 cm, questo valore viene considerato pari a 0,1[7].

Ma il coefficiente di deflusso dello strato di coltura è un dato valido finché questo strato non raggiunge la saturazione. Le tabelle riportate nella UNI:11235 sono chiare nel descrivere come il terreno di coltura trattenga tanta più acqua quanto più è spesso: aumenta il vantaggio registrato dal coefficiente di deflusso, ma non solo (e non soprattutto) per le caratteristiche specifiche del substrato. Osservando solo il terreno di coltura si è portati a considerare questo come uno spazio che, al netto del terriccio, può essere occupato dall'acqua: aumentando la quantità di substrato si può certamente ridurre il coefficiente di deflusso di un sistema a verde pensile, ma il substrato è e resta incapace di gestire l'acqua.

Il sistema BGR è invece progettato per raccogliere e gestire grandi quantità di acqua durante eventi piovosi intensi. Il substrato ha funzioni specifiche e calibrate sulla salute del manto erboso, ma non può essere progettato per incidere sul coefficiente di deflusso: nel BGR sono gli strati sottostanti al substrato a gestire il coefficiente di deflusso, azzerandolo. Tale capacità di accumulo è virtuosa anche perché è posta in relazione ad un'innovativa modalità di irrigazione[8] che supporta la vegetazione riducendo i consumi idrici e lo stress termico nei periodi siccitosi e caldi. Se l'acqua è un bene prezioso, essa non deve essere sprecata nemmeno per l'irrigazione dei manti verdi: nel caso del BGR non vi è spreco perché è possibile progettare e realizzare stratigrafie con accumuli sufficienti a gestire il 100% dei fabbisogni del verde pensile e il 100% delle piogge su base annua (Fig. 2).

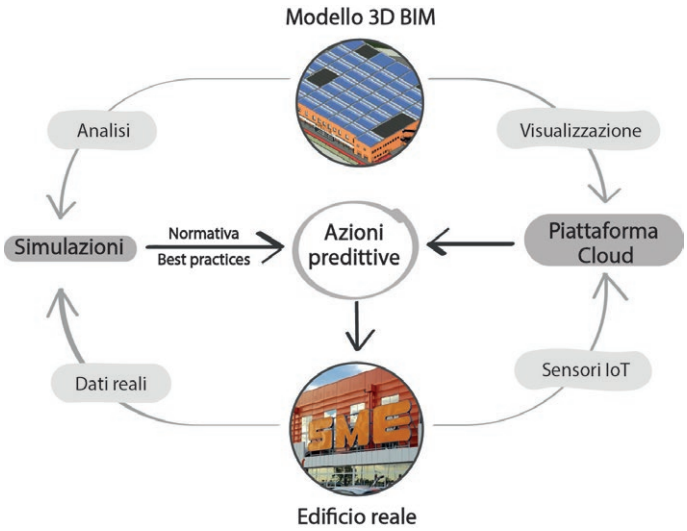
Per consentire al BGR di operare in questo modo, sono fondamentali i dati rilevati e gestiti durante la fase d'uso: la progettazione viene sviluppata preferibilmente con metodologie BIM[9] e una centralina IoT elabora dati e informazioni nell'arco di vita utile del manufatto in modo che sia possibile una gestione dinamica dell'infrastruttura tecnologica. Il sistema BGR raccoglie l'acqua piovana nel bacino di accumulo e, prima dell'arrivo di piogge abbondanti, il bacino di accumulo viene svuotato per

02 |



03 | Processo progettuale e di ricerca che pone in relazione caso studio reale e modello BIM. Testi e elaborazione grafica di Federica Crosato

Design and research process relating an actual case study and the BIM model. Texts and graphic processing by Federica Crosato



accogliere l'acqua in arrivo; in questo modo le superfici di captazione non scaricano acqua nella rete fognaria nei periodi di carico eccessivo. L'acqua piovana raccolta viene utilizzata anche per l'irrigazione e, quando i sensori rilevano un livello di umidità sufficiente, l'irrigazione viene posticipata o ridotta. Il sistema BGR è quindi a tutti gli effetti una stratigrafia tecnologica dinamica che richiede un modello progettuale avanzato, in grado di valorizzare i big data con i quali opera il sistema.
La quantità di dati raccolti ha permesso la definizione di un "contenitore digitale" di informazioni utili per la gestione sostenibile dell'acqua piovana. A tal fine è stato costruito un modello informativo BIM, luogo di sperimentazione progettuale del principio dell'invarianza idraulica, strumentale per la definizione di scenari più ampi a scala urbana (Fig. 3).
In parallelo allo sviluppo del modello, la rilevazione dei dati è ancora in corso e viene sottoposta periodicamente al vaglio del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale: il modello e le rilevazioni sul campo saranno la base per lo sviluppo di linee guida utili alla gestione dell'acqua piovana, anche come alternativa o integrazione all'utilizzo delle più tradizionali vasche di laminazione.

Dati sperimentali: campo-prova BGR e rilevamenti

Durante la ricerca è stato analizzato il comportamento degli elementi tecnici costituenti varie stratigrafie di verde pensile in condizioni reali. In particolare, l'evento piovoso del 16 maggio 2024 (ARPAV, 2024) è stato monitorato attraverso i dati rilevati da un campo prova BGR di tipo intensivo[10] gestito con sistema IoT che prevede:
- sensori di umidità e temperatura;
- sensore di livello;
- scarico gestibile da remoto (per poter rilasciare l'accumulo idrico a comando);
- troppo pieno;
- contalitri sullo scarico del troppo pieno;
- sistema di irrigazione[11] alimentato con l'acqua di accumulo.

Durante la giornata si sono abbattute diverse piogge, a intensità variabile e della durata di una o più ore con cadute a più riprese. Nello specifico, i dati rilevati dal pluviometro *in situ*[12] hanno evidenziato accumuli piovosi di:
- 45 mm dalle 02:00 alle 05:00;
- 1 mm dalle 05:00 alle 9:20;
- 19 mm dalle 09:25 alle 12:10;
- 15 mm dalle 15:55 alle 17:50;
- 30 mm dalle 19:50 alle 22:35.

Il sensore di livello ha rilevato l'innalzamento del livello di acqua all'interno del bacino, sotto la stratigrafia del verde pensile, mettendo in rilievo due aspetti fondamentali legati al deflusso del pacchetto BGR e alla possibilità che esso possa fungere da vasca di laminazione[13].

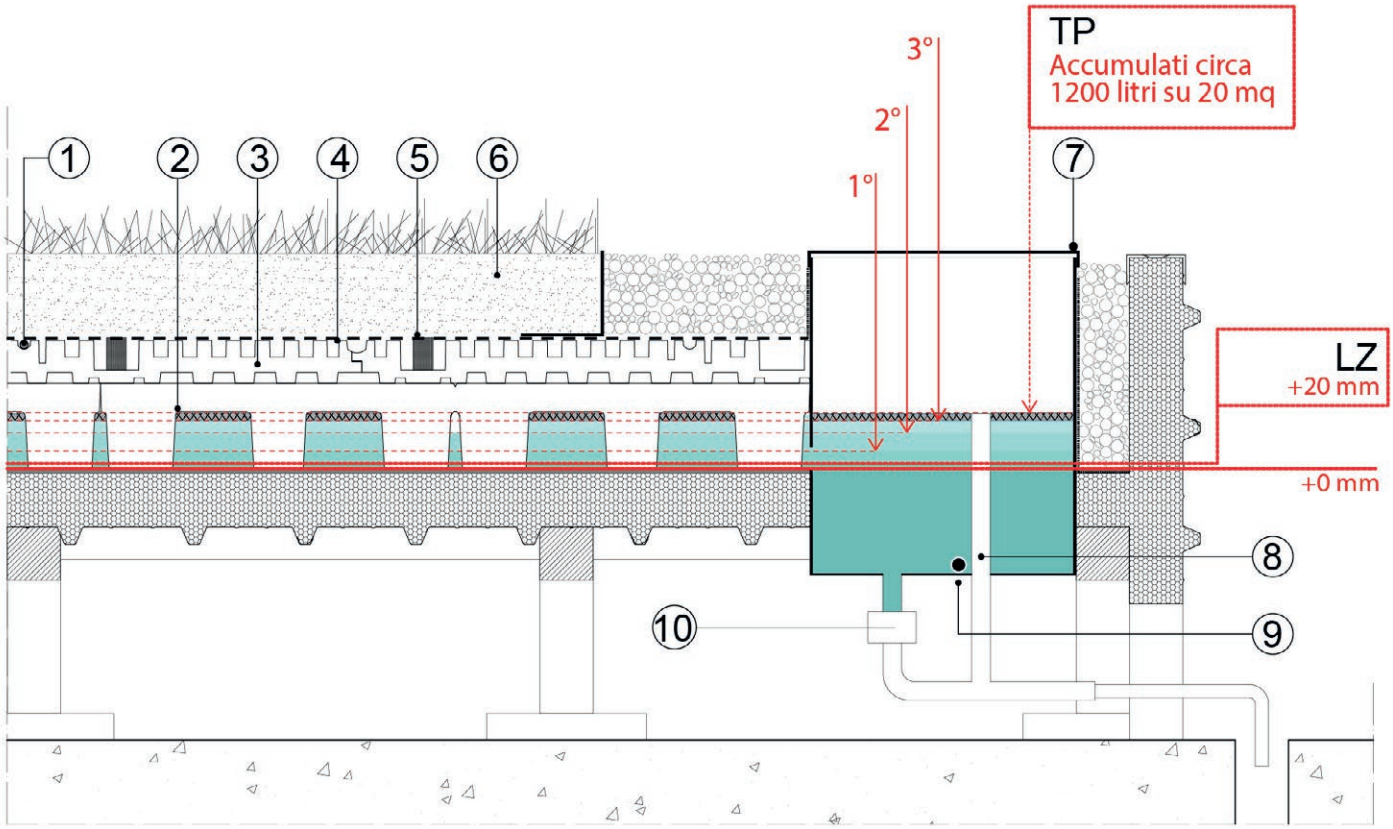
dustrial zones, 70 to 90 percent of rainfall fails to infiltrate the soil, leaving only 10 to 30 percent (at best) able to percolate into the ground. Conversely, in agricultural areas, the proportion of unabsorbed water ranges between 30 and 50 percent, while in natural areas such as forests or grasslands, it remains below 20 percent of total rainfall[5]. This stark comparison highlights the substantial disparity in water absorption between urbanised and natural landscapes.
The water retention capacity of green roofs depends on multiple factors, including both technical and contextual variables. Technical aspects, such as the design of the stratigraphy, can be optimised, while others, like precipitation patterns and local climate, are inherent to the project context. International standards, including ISO 13578:2016 and UNI 11235:2015, offer guidelines for determining the runoff coefficient of green roofs. These standards outline methods to calculate and predict the performance of the vegetative layer.
Performance testing involves controlled experiments using defined slopes and simulated rainfall of 108 mm per hour in laboratory settings[6]. These tests calculate the runoff coefficient, which varies by the substrate thickness of the green roof. For example:
- Extensive green roofs (8 cm substrate thickness) have a runoff coefficient of 0.6, corresponding to a retention capacity of 40 percent.
- Intensive green roofs (15 cm substrate thickness) achieve a runoff coefficient of 0.35, retaining up to 65 percent of rainfall.
- For substrates exceeding 50 cm, the coefficient drops to 0.1[7], reflecting a 90 percent retention capacity.

These metrics illustrate the effectiveness of green roofs in mitigating urban runoff and managing stormwater.
The run-off coefficient of the culture layer is useful until this layer reaches saturation. The tables in UNI:11235 clearly describe that a thicker growing medium retains more water. As the thickness of the growing medium increases, the advantage recorded by the runoff coefficient increases, but this is not only (and not mainly) due to the specific characteristics of the substrate. The growing medium can almost be considered a space that, net of topsoil, can be occupied by water. Indeed, increasing the amount of growing medium can certainly reduce the runoff coefficient of a green roof system, but the substrate is and remains incapable of handling water.
On the other hand, the BGR system is specifically designed to collect and manage significant volumes of water during intense rainfall events. Although the substrate is designed to support the health of vegetation, it does not play a role in regulating the runoff coefficient. In the BGR system, this role is fulfilled by the layers beneath the substrate, which are engineered to reduce the runoff coefficient to zero. This storage capacity is also virtuous because it is related to an innovative irrigation method[8] that supports the vegetation by reducing water consumption and heat stress in dry and hot periods.
Since water is a valuable resource, its use must be optimised, even for green roof irrigation. In the case of the BGR system, there is no waste. In fact, the stratigraphy can be designed and implemented to provide sufficient storage capacity to meet 100% of the water needs for vegetation, and to handle

04 | Sezione rappresentativa di un BGR e del sistema di gestione del troppo pieno: vi sono riportati i livelli di acqua registrati durante l'evento del 16 maggio 2024. Elaborazione grafica di Author. 01- impianto di irrigazione DAKU Irriga ®, 02- pannello DAKU HYPERDRAIN, 03- strato di accumulo e drenaggio DAKU FSD IRRIGA, 04- strato di filtro STABILFILTER, 05- camino capillare, 06-strato di coltura, 07-strato vegetale, 08-pozzetto di ispezione, 09- tubo del troppo-pieno, 10- sensore di livello, 11- scarico azionato con sistema IoT, LZ – livello "zero" da cui è iniziato il conteggio dei litri accumulati durante l'evento, TP- "troppo pieno", 1°/2°/3°- tre scaglioni di aumento del livello in relazione ai tre scrosci

A BGR and its overflow management system: it shows the water levels recorded during the event on 16 May 2024. Graphic elaboration by Author. 01- DAKU Irriga ® irrigation system, 02- DAKU HYPERDRAIN panel, 03- DAKU FSD IRRIGA accumulation and drainage layer, 04- STABILFILTER filter layer, 05- capillary chimney, 06- culture layer, 07- vegetation layer, 08- inspection pit, 09- overflow pipe, 10- level sensor, 11- drain driven with IoT system, LZ- 'zero' level from which the counting of litres accumulated during the event began, TP- 'overflow', 1°/2°/3°- three steps of level increase in relation to the three downpours

04 |



Limitando l'analisi alle 18 ore comprese tra le 02:00 e le 20:00, si sono verificati tre scrosci per un totale di 81 mm di pioggia caduta e si osserva che il sensore all'interno del bacino ha riportato un aumento del livello di 70 mm che, ragguagliati alla superficie captante di 20 m² del campo prova, corrispondono a 60 mm di pioggia raccolta (pari a 1200 litri) (Fig. 4). Tali dati sono

100% of annual rainfall (Fig. 2).
Effective operation of the BGR system depends on data collection and management during its operational phase. The design process is ideally carried out using BIM[9] methodologies, with an IoT control unit analysing data throughout the building's lifecycle to enable adaptive and dynamic management of the technological infrastructure. The system collects rainwater in a storage basin, which is emptied in advance before heavy rainfall to provide adequate space to collect the water. This forward-thinking strategy ensures that catchment surfaces do not release excess water into the sewer system during peak load periods. Furthermore, the stored rainwater is used for irrigation, with sensors tracking soil moisture levels to either optimise or delay irrigation, as necessary. The BGR system thus operates as a fully dynamic technological stratigraphy, requiring an advanced design framework that leverages big data to optimise its function.
The amount of data collected led to the definition of a 'digital container' of information that is useful for sustainable rainwater management. An information model based on BIM methodology was created to achieve this. In the BIM model, the principle of hydraulic invariance has been tested in a project-oriented manner. This is a tool and method for defining broader scenarios on an urban scale (Fig. 3).
While the development of the model proceeds, data collection is still in progress and is periodically submitted to the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale for review. The BIM model and the test field surveys will be the basis for the development of useful guidelines for rainwater management. They may be an alternative or supplement to the lamination basins that are usually constructed.

Experimental data: BGR test field and measurements
The research analysed the behaviour of technical components in various green roof stratigraphies under operational conditions. Specific focus was placed on the rainfall event that occurred on 16 May 2024 (ARPAV, 2024), monitored using data collected from a BGR intensive[10] test field equipped with an IoT-based management system, which included:
- Moisture and temperature sensors;
- Level sensor;
- Remotely controlled drainage system (to release stored water on demand);
- Overflow mechanism;
- Flow meter on the overflow discharge;
- Irrigation system[11] fed with stored rainwater.

Several rainfall events of varying intensity took place throughout the day, lasting from one to several hours with occasional breaks in between. Data collected from the on-site[12] rain gauge revealed the following precipitation levels:
- 45 mm from 02:00 am to 05:00 am;
- 1 mm from 05:00 am to 09:20 am;
- 19 mm from 09:25 am to 12:10 pm;
- 15 mm from 03:55 pm to 05:50 pm;
- 30 mm from 07:50 pm to 10:35 pm.

The level sensor monitored the rising water level within the basin located beneath the green roof stratigraphy. This demonstrates how the BGR system effectively manages rainwater runoff by acting as a lamination basin[13].
Three downpours occurred during the 18-hour period between 02:00 am and

05 | La precipitazione del 16 maggio 2024: sono leggibili i tre scrosci di pioggia che il BGR ha gestito. Dati e elaborazione grafica del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale
Rainfall on 16 May 2024: the diagram shows the three downpours managed by the BGR. Data and graphic processing by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale

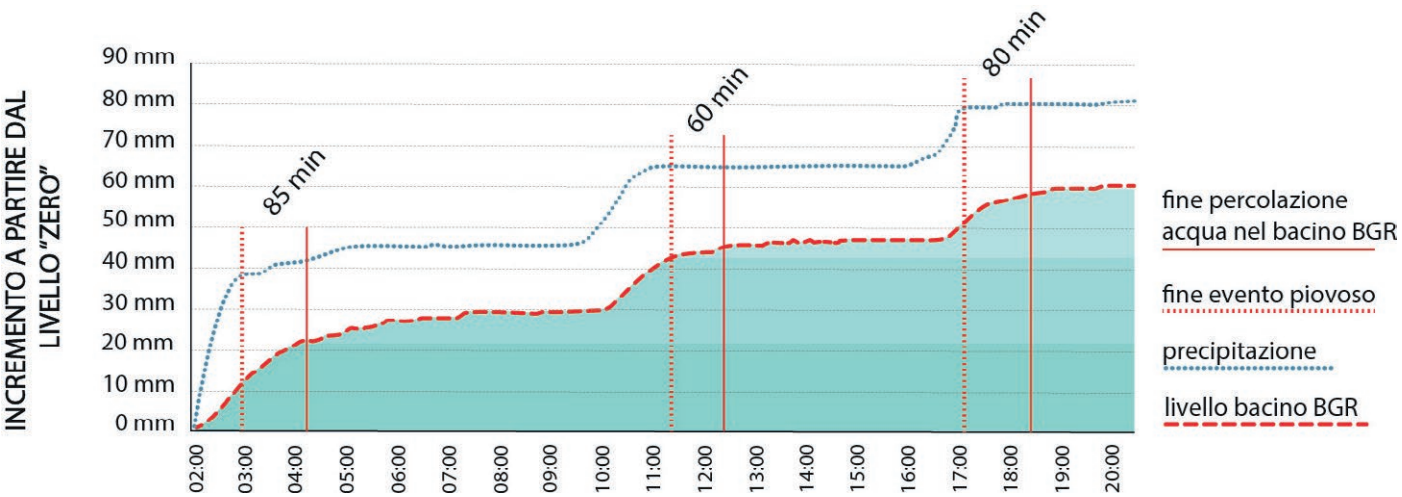
confermati dal Consorzio di Bonifica Veneto Orientale e, assumendo come periodo di osservazione una finestra temporale che antecede di 3 ore la fine dell'evento, si può desumere che il rapporto tra il volume d'acqua piovuto e quello che sarebbe andato in scarico sia pari nel suo complesso a 60/81 e cioè 0,74. Osservando i tre scrosci, il BGR ha determinato un significativo ritardo in termini di risposta: il grafico mostra che questa varia tra 60 e 85 minuti, in relazione sia all'intensità dello scroscio sia al livello di saturazione del substrato. A questi già importanti effetti di laminazione collegati al substrato colturale, si aggiunge l'effetto dell'accumulo primario sottostante il verde pensile: si è riempito alle ore 21:20, durante il quarto scroscio, e ha attivato lo scarico del "troppo pieno". Il BGR ha quindi trattenuto per 18 ore la quantità di acqua caduta durante le tre piogge descritte, arrivando a scaricare solo durante l'ultimo scroscio della giornata: ciò comporta la mancata immissione delle acque di prima pioggia nel sistema fognario, in un tempo sufficientemente lungo da garantire il non sovraccarico del sistema fognario (Fig. 5).
A fronte dell'analisi dell'evento del 16 maggio 2024, e di altri comparabili a questo, si può concludere che:

- Assumendo come coefficiente di deflusso il rapporto tra il volume scaricato entro 3 ore da fine scroscio e il volume piovuto, il substrato del sistema BGR ha consentito di raggiungere un valore pari a 0,74;
- Grazie al funzionamento integrato tra substrato vegetale e vasca di accumulo è possibile, secondo il calcolo legato sull'invarianza idraulica del DGR 2948/2009, stralciare la superficie del tetto con sovrapposto BGR ai fini del calcolo delle aree impermeabilizzate in un progetto edilizio[14].

Grazie a queste analisi e ai loro positivi risultati è stato definito un nuovo modello di raccolta dati, che potrà essere utilizzato per monitorare eventi futuri.

Modello BIM e scalabilità dei dati sperimentali secondo l'approccio "what if"

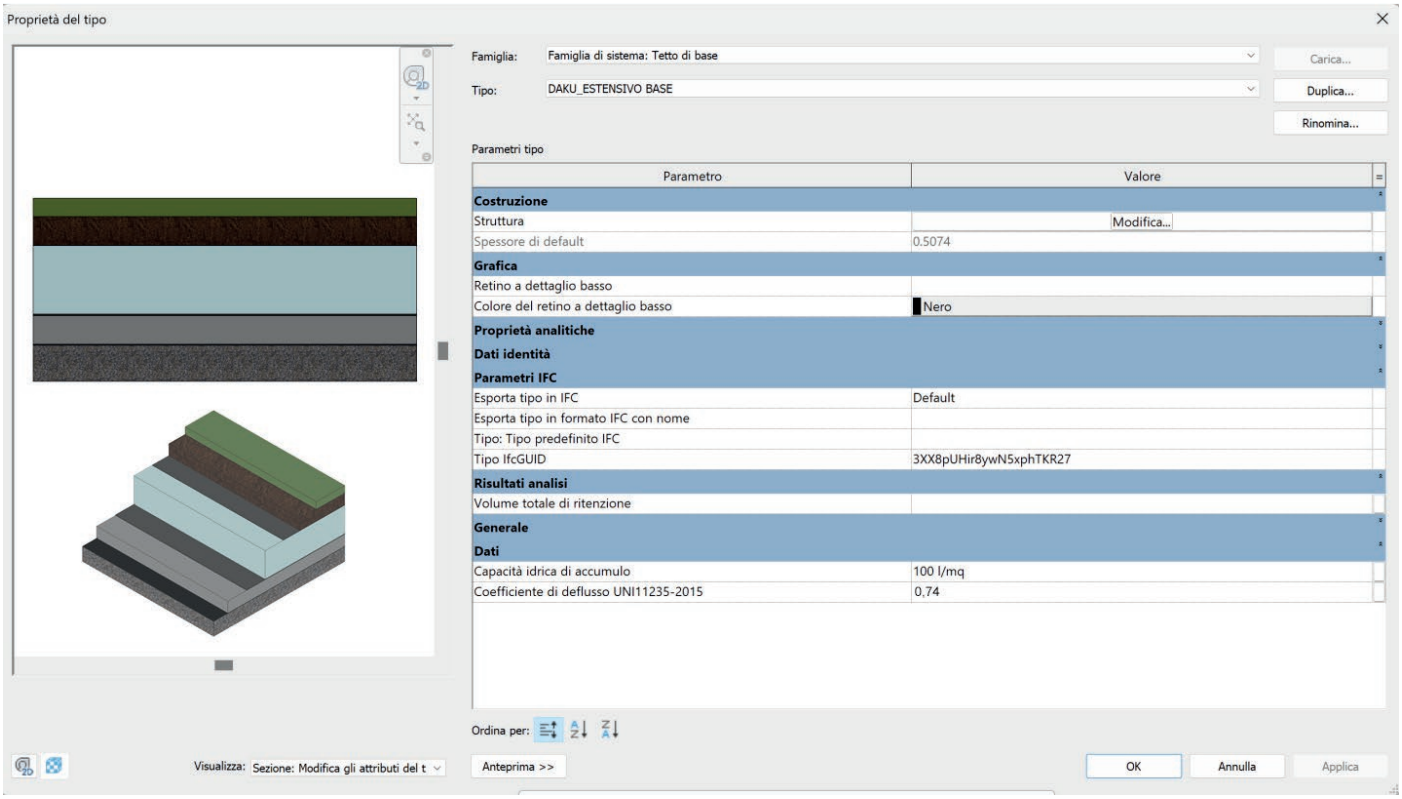
L'analisi descritta dimostra le potenzialità di un sistema tanto semplice quanto ricco di progettazione, applicazione di know-how tecnico e sperimentazione tecnologica. Se immaginato su vasta scala, questo sistema di gestione delle acque piovane può diventare un elemento per la progettazione della messa in sicurezza di porzioni di città. Mettendo in relazione i dati raccolti con superfici reali di un caso studio in ambito urbano, appare evidente l'impatto di mitigazione che questa soluzione può avere di fronte ad eventi piovosi estremi. Grazie ad interventi non invasivi sarà possibile quindi riqualificare aree densamente edificate riattivando un ciclo dell'acqua prima interrotto dall'impermeabilizzazione del suolo e ora possibile attraverso la gestione dinamica di stratigrafie opportunamente mappate in modelli BIM che riferiscono a dati specifici e relativi contesti (Fig. 6).
Ciò che è innovativo non è solo l'insieme di elementi tecnici, sensori e database per il funzionamento dei BRG, ma è l'approccio progettuale indispensabile ad esso: serve un processo edilizio attivo e interattivo durante tutto l'arco di vita utile del manufatto; ciò è possibile solo a condizione che l'operato dei progettisti sia supportato da strumentazioni, metodi di collaborazione, sistemi IoT e, soprattutto, da una profonda conoscenza e gestione dell'informazione per l'intero ciclo di vita di un cespite.
Le prime simulazioni progettuali hanno consentito considerazioni in merito al minor impatto ambientale della realizzazione



06 | Raccolta sistematizzata degli elementi costruttivi impiegati nei BGR che mostra stratigrafie, materiali e dati alfanumerici. Ogni elemento è dettagliato con specifiche tecniche per garantire la compatibilità e l'efficienza nella progettazione e l'implementazione della raccolta di dati. Elaborazione grafica di Marta Del Bello

The building elements used in the BGR: stratigraphy, materials and alphanumeric data. Each element is detailed with technical specifications to ensure compatibility and efficiency in the design and implementation of data collection. Graphic elaboration by Marta Dal Bello

06 |



del sistema BGR, grazie alla riduzione dei volumi nel dimensionamento delle vasche di laminazione.
Sono state individuate quindi alcune fasi operative della ricerca in corso: dalla loro interazione e applicazione a svariati contesti, si ritiene possibile un progressivo miglioramento dell'intero apparato progettuale e gestionale dei BGR.
Una prima verifica è stata condotta su di un edificio di tipo commerciale esistente, realizzato negli anni '90 e sito nell'area industriale della città di Portogruaro[15]. Per questo caso studio è stata progettata una copertura BGR con le caratteristiche analizzate: la copertura in esame conta 5.470 m² all'interno di un lotto di più di 15.000 m² e presenta una superficie di 4.000 m² su cui è possibile installare un BGR. Secondo la normativa, per la messa in sicurezza di tali superfici, sarebbe necessario costruire

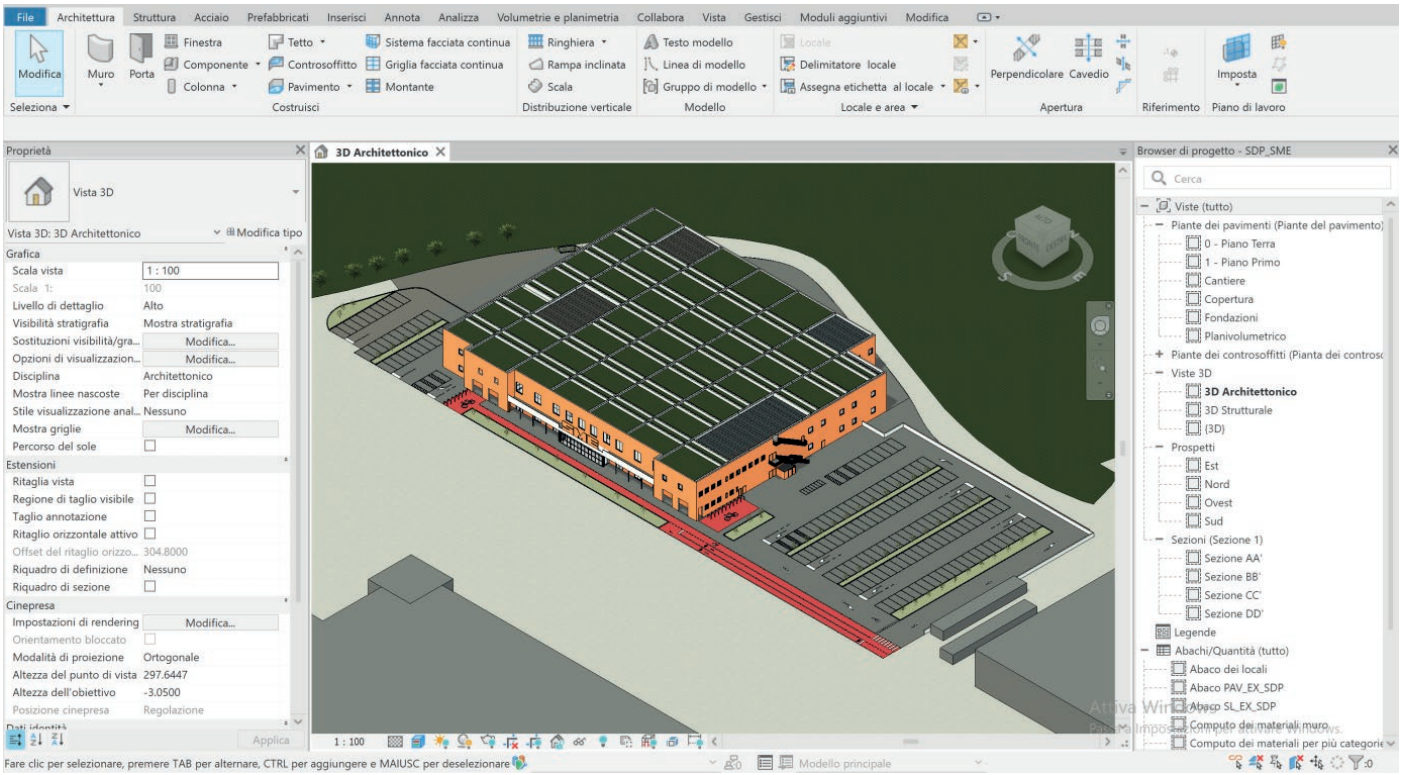
08:00 pm, resulting in a total of 81 mm of rainfall.
During this time and with this rainfall, the sensor inside the basin recorded a 70 mm increase in the water level, which corresponds to 1,200 litres of rain collected by the 20 m² test field (Fig. 4). These findings are validated by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (Eastern Veneto Land Reclamation Consortium). Considering a three-hour observation window before the end of the rainfall, the ratio between the total rainfall volume and the volume of water that would have entered the drainage system is 60/81, equivalent to 0.74.
Observing the three downpours, the BGR system significantly delayed water outflow, with delays ranging from 60 to 85 minutes depending on the intensity of the rain and the saturation level of the substrate.
In addition to the lamination effects provided by the vegetative substrate, the system's storage layer beneath the green roof also contributed to this delay. This layer reached full capacity at 09:20 pm during the fourth downpour, activating the overflow discharge mechanism.
As a result, the BGR system successfully retained all the water from the three initial downpours over the 18-hour period. Minimal water was discharged only during the final rainfall event of the day. This process prevents the first rainwater from entering the sewer system, ensuring sufficient delay to avoid overloading the infrastructure (Fig. 5).
From the analysis of the rainfall event on 16 May 2024, and similar occurrences, the following conclusions can be drawn:
– Using the runoff coefficient defined as the ratio of the volume discharged within three hours after the end of the downpour to the total rainfall volume, the substrate of the BGR system yielded a value of 0.74;
– By combining the functions of the vegetative substrate and the storage tank, the roof area covered by the BGR system can be excluded from the calculation of sealed surfaces in building projects. This aligns with the hydraulic invariance criteria outlined in DGR 2948/2009.

BIM model and scalability of experimental data using the "What If" approach

The analysis highlights the potential of a system that is both straightforward and rich in design, technical expertise, and technological experimentation. When scaled up, this rainwater management system could become a key tool for enhancing the safety of urban areas.
Correlating the collected data with real surfaces from an urban case study highlights the mitigation impact of this solution during extreme rainfall events. Through non-invasive interventions, it is possible to revitalise densely built-up areas by reactivating the water cycle, previously disrupted by soil sealing.
This is achievable through dynamic management of stratigraphies, mapped within BIM models that integrate specific data with environmental context variables (Fig. 6).
What is truly innovative is not just the combination of technical components, sensors, and databases that enable the operation of BGR systems, but the essential design approach that accompanies it. This requires an active and interactive construction process throughout the entire lifecycle of the structure. Such a process is feasible

07 | Caso studio: la struttura commerciale di grande dimensione che insiste su di un lotto 15.640 m²: gli standard di invarianza idraulica prevedono vasche di laminazione per un volume di 2.928 m³ per l'intera superficie. Elaborazione grafica di Marta Del Bello

Case study: a large commercial structure on a 15,640 m² plot. The hydraulic invariance standards require the installation of lamination tanks with a volume of 2,928 m³ for the entire area. Graphic elaboration by Marta Dal Bello



una vasca di laminazione in grado di gestire 345 m³. Attraverso una copertura BGR è possibile accumulare un volume (minimo) d'acqua pari a 100 litri/m² per un totale di 400 m³ sulla copertura del caso studio. Scalando i dati raccolti il 16 maggio 2024, su tale copertura si sarebbero accumulati 240 m³ di acqua utilizzabile, ad esempio, per la gestione del verde durante i periodi di siccità.

In questa fase di ricerca è stato realizzato il modello BIM 3D dell'edificio definendo i dati geometrici-dimensionali e alfanumerici della struttura oltre alle condizioni al contorno: è stato utilizzato Autodesk Revit 2025 (Fig. 7)

L'informatizzazione del modello in ambiente BIM ha richiesto poi la definizione di precisi requisiti informativi selezionati in base allo scopo del progetto: dall'obiettivo della ricerca discen-

only if designers are equipped with collaborative tools and methods, IoT systems and, above all, a deep understanding and management of information over the asset's entire lifecycle.

The initial design simulations have highlighted the reduced environmental impact of implementing the BGR system, primarily due to smaller volume requirements for lamination basins.

Several operational phases of the ongoing research have been identified. A progressive improvement of the entire design and management framework for BGR systems is anticipated through their interaction and application across diverse contexts.

The verification was conducted on an existing commercial building constructed in the 1990s, located in the industrial area of Portogruaro. For the case study, a BGR roof was designed based on the analysed characteristics. The roof in question spans 5,470 m² within a lot of over 15,000 m², with 4,000 m² suitable for the installation of a BGR system.

According to regulations, securing such surfaces would require the construction of a lamination basin capable of managing 345 m³ of water. However, with a BGR roof, it is possible to store a minimum volume of 100 litres/m², amounting to a total of 400 m³ directly on the roof of the case study building.

Extrapolating from the data collected on 16 May 2024, this roof would have stored 240 m³ of water, which could be utilised, for instance, to manage green spaces during periods of drought.

In the initial phase, a 3D BIM model of the building was created, incorporating the geometric, dimensional, and alphanumeric data of the structure as well as its boundary conditions. Autodesk Revit 2025 was used for this process (Fig. 7).

Digitisation of the model within the BIM environment required the definition of specific information requirements tailored to the project's objectives. Based on the guide by Penn State University (Messner *et al.*, 2021), three specific BIM uses were identified and are detailed in the table (Fig. 8).

The second phase involved defining new parameters (runoff coefficient, water flow rate, safety coefficient, and water volume to be discharged) necessary for calculating runoff on the BGR roof, another key research objective. By establishing these parameters, schedules were created to calculate the outflow rate, providing essential data control and supporting preliminary sizing. These schedules, developed through the research, are now available for future projects.

The next steps allow the option of installing sensors on the roof, which is another key objective of the research. When integrated with the BIM system, the sensor network can enable real-time management during the operational phase of the project. This includes monitoring the roof's performance, detecting anomalies, collecting data to build a historical record of the stratigraphy's behaviour, and managing large volumes of information.

The availability of historical data within cloud-based collaboration platforms will allow for scenario simulations. Each BGR system thus becomes an archive of information that, when combined with weather forecasts, can contribute to territory safety. It operates in a manner akin to the role historically played by drainage channels and reclamation pumps in safeguarding the land.

de l'uso del modello. Sono stati quindi estrapolati dalla guida della PennState University (Messner *et al*., 2021) tre diversi usi riportati nella tabella (Fig. 8).
La seconda fase ha previsto la creazione di nuovi parametri (coefficiente di deflusso, portata d'acqua, coefficiente di sicurezza e portata d'acqua da smaltire) utili al calcolo del deflusso sulla copertura BGR, altro obiettivo della ricerca. Grazie alla definizione dei parametri, sono state generate delle *schedules* per il calcolo della portata d'acqua in uscita, utili per il controllo del dato e per la definizione di un predimensionamento. Gli abachi così sviluppati sono a disposizione di futuri progetti.
I passi successivi riferiscono all'applicazione dei sensori sulla copertura, ulteriore obiettivo della ricerca. La sensoristica, se è collegata al sistema BIM, può consentire di: gestire il progetto nella sua fase d'uso grazie al riscontro in tempo reale del comportamento della copertura; segnalare eventuali anomalie; raccogliere dati per costruire uno storico del comportamento della stratigrafia; gestire una enorme quantità di dati.
Grazie alla possibilità di avere uno storico dei dati raccolti all'interno delle piattaforme di collaborazione cloud, potranno essere effettuate simulazioni di scenari. Ogni BGR diviene quindi un archivio di informazioni che, a sistema con le previsioni metereologiche, può lavorare per la messa in sicurezza del territorio al pari di quanto hanno fatto e fanno le canalizzazioni e le idrovore della bonifica.

Conclusioni

Il sistema BGR così studiato e sviluppato è quindi un articolato insieme di elementi tecnici, informazioni e strumenti di modellazione che non potrebbero interferire senza un'attenzione particolare posta nei confronti del comportamento dei suoli naturali. La necessità stessa di raccogliere e gestire dati per la progettazione dei BGR è sorta a valle dell'attenta osservazione dei campi prova e della comprensione della complessità degli equilibri naturali legati al loro funzionamento. L'insieme delle tecnologie, dei sensori e delle soluzioni progettuali è derivato da questa sottile sensibilità e sviluppa una forte spinta innovativa: è estremamente rilevante la necessità di ampliare le capacità di progetto ponendo attenzione alle fasi di esercizio del costruito attraverso un'attenta lettura di dati puntuali e di numerose correlazioni tra essi.
La sperimentazione sui campi prova è quindi ora gestita in parallelo alle simulazioni sui modelli BIM; è in fase di progettazione e di programmazione un sistema dall'avanzata maturità digitale tale da poter sfruttare i big data che vengono costantemente raccolti e da gestire le informazioni necessarie alle dinamiche predittive degli eventi meteorologici.
L'insieme delle questioni tecniche e pratiche per innovare le soluzioni per la gestione dell'acqua piovana è quindi pronto, il BGR è a disposizione dei progettisti. L'informazione del progetto e la sua implementazione attraverso sistemi di IoT sono in corso di affinamento. Sarà l'integrazione in ambiente BIM e GIS del sistema BGR a consentire al sistema di elementi hardware e software di divenire una reale innovazione: la collaborazione tra la capacità progettuale e il supporto delle tecnologie digitali consentirà di impiegare questa soluzione tecnologica alla scala adatta ad affrontare il cambiamento climatico in atto. Gli esiti dei dati sperimentali rilevati e l'impatto della loro scalabilità possono diventare strumenti a supporto dell'adeguamento normativo, per lo sviluppo di scenari di mitigazione a

Conclusions

The BGR system, as researched and designed, is a complex integration of technical components, informational frameworks, and modelling tools. These elements are interconnected by the research's focus on the performance of natural soils.
The need to collect and manage data for BGR design emerged from detailed observations of the test fields and a deep understanding of the natural balances influencing their operation.
The combination of technologies, sensors, and design strategies stems from this nuanced awareness, which drives significant innovation.
Enhancing design capabilities by focusing on the operational phases of the built environment is essential. Achieving this requires precise analysis of individual data points and the establishment of multiple correlations among them.
Experimentation on the test fields is now conducted alongside simulations in BIM models. Currently, efforts are focused on designing and programming a system with advanced digital maturity. This system will leverage the continuously collected big data to manage the information required for predictive modelling of weather events.
The groundwork for innovating rainwater management solutions is now established, and the BGR system is ready for planners. The project's information framework and its implementation through IoT systems are being fine-tuned. Once fully integrated into the BIM and GIS environment, the combination of hardware and software components will be a true innovation. Digital technologies will serve the project, enabling the BGR solution to scale effectively and address the challenges posed by ongoing climate change.
The results of the experimental data and their scalability potential can serve as valuable tools to support regulatory compliance, develop urban-scale mitigation strategies, and redefine contractual frameworks for integrated design and construction collaboration among various stakeholders in the construction supply chain (Giana, 2022).
For future research development, optimised rainwater management and harvesting through BGR systems are regarded as significant advancements for the urban environment. The computerised BGR model could contribute to the creation of Digital Twins for cities, enabling the management of not only runoff and rainwater use but also of various other aspects of the interaction between the built and natural environments.

NOTES

[1] «Land and soil are fragile and limited resources, they are subject to the pressure of an ever-increasing search for space: urban sprawl and soil sealing consume nature and turn precious ecosystems into desert-like concrete» (European Commission, 2021).
[2] https://www.innoveneto.org/wp-content/uploads/2021/09/BGR-scheda-DAKU.pdf (Accessed on: 01/11/2024).
[3] Technical know-how and building materials are provided by DAKU Italia.
[4] A wide range of data is collected. These include: moisture content in the soil, water level within the reservoirs, temperature and air humidity, and in situ environmental data (Toolbox, 2022).
[5] Percentage values provided by EPA (United States Environmental Protection Agency) and used by AdriAdapt,

08 | Le specifiche degli usi del modello BIM. Testi e elaborazione grafica di Federica Crosato
Details of the use of the BIM model. Texts and graphic processing by Federica Crosato

Uso del modello	Descrizione	Discipline	Categorie di oggetti	Strategie di modellazione o informative	Output
U1. Acquisizione delle condizioni esistenti	Il modello BIM è utilizzato per sviluppare e supportare il rilievo dello stato di fatto dell'opera	Architettura e Struttura	Strutture; Chiusure; Partizioni esterne;	Software di modellazione e attrezzature di rilievo convenzionale	Informazioni dettagliate sul layout e sulle caratteristiche tecnologiche; quantità in tempo reale.
U2. Monitoraggio delle prestazioni del sistema	Utilizzo di modelli e dati dei sensori di una struttura per valutare e modellare le prestazioni funzionali complessive dei sistemi della struttura, ad esempio strutturali, meccanici, idraulici	Architettura; Struttura; Impianti speciali	Impianti di fornitura servizi	Utilizzo di software di modellazione e sistemi di controllo degli edifici; sistemi IoT;	Esaminare scenari "what if" per valutare alternative per una struttura; miglioramento delle prestazioni del sistema; riduzione dei costi operativi e dell'impatto ambientale.
U.3 Analisi delle prestazioni di sostenibilità	Il modello BIM permette di abilitare, nelle varie fasi del ciclo di vita di un'opera, analisi del livello di sostenibilità dell'opera secondo uno o più degli standard e protocolli per la certificazione della sostenibilità	Architettura; Struttura; MEP; Impianti speciali	Strutture; Chiusure; Partizioni esterne	Utilizzo di software e/o plugin di modellazione 3D e di analisi della sostenibilità aggiornati; creazione di nuovi parametri di progetto (condivisi)	Facilitare l'interazione, la collaborazione e il coordinamento; valutazione tempestiva e affidabile delle alternative progettuali;

scala urbana e per ripensare a nuovi strumenti contrattuali di collaborazione integrata per la progettazione e costruzione tra i differenti attori della filiera delle costruzioni (Giana, 2022)
Al fine dello sviluppo futuro della ricerca, la gestione e la raccolta ottimizzata dell'acqua piovana tramite BGR è considerata una effettiva miglioria per l'ambiente urbano: il modello informatizzato BGR potrà essere impiegato nella creazione dei *Digital Twin* delle città, per gestire non solo il deflusso e l'utilizzo dell'acqua piovana, ma anche altri numerosi aspetti della relazione tra il costruito e l'ambiente naturale.

NOTE

[1] «Terreni e suoli sono risorse fragili e limitate, soggette alla pressione di una sempre crescente ricerca di spazio: l'espansione urbana e l'impermeabiliz-

project funded by the Interreg Italy-Croatia Cross-Border Cooperation Programme 2014-2020.

[6] The test procedure is defined by FLL:2008. Three rainfalls 24 hours apart with a duration of 15 minutes are simulated on a test field with only the substrate. During each rainfall, the growing layer is subjected to no less than 108 mm/hour (considering a variability of 10%). The average of three tests determines the runoff coefficient of a substrate.

[7] Values set out in 6.2.4 of UNI 11235:2015.

[8] DAKU Irriga® is a patented system based on NbS (Nature-based Solutions) principles, which allows optimal and natural growth of the root system. The water is in the storage and drainage panel, reaches the filter layer and, afterwards, the substrate. This happens thanks to capillary chimneys.

[9] Building Information Modelling is a methodology for optimising the production and collaborative management of works in the construction industry over its entire life cycle (ISO 19650, UNI 11337). In the design phase, it allows dynamic BGR verifications, and in the building management phase it can be implemented with sensor data.

[10] DAKU Intensivo.

[11] DAKU Irriga ®.

[12] The analysis was thus defined and structured by the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale.

[13] The data measured by the level sensor corresponds to the amount of water accumulated in each m^2, net of the footprint of vertical elements that structure the storage panel. 10 mm/m^2 does not correspond to 10 l/m^2, but to 8.63 l/m^2. Furthermore, the quantity accumulated during this water bomb is not the maximum that can be accumulated by the BGR: not all the water present was discharged on the day before the rain. Therefore, at the time of the rainfall on 16/05/2024, 20 mm of water was already present in the reservoir.

[14] This is possible if the height of the storage tank is dimensioned to balance the input from the substrate to the discharge to the public network of 10 l/(s*ha).

[15] Simulation carried out with Marta Dal Bello, architect and author of the thesis entitled "Future Green. Innovative methods for water management and protection through the integration of Nature Based Solutions in BIM design", supervisor: Maria Antonia Barucco, co-rapporteurs: Federica Crosato and Marta Possiedi.

zazione del suolo consumano la natura e trasformano preziosi ecosistemi in deserti di cemento» (Commissione Europea, 2021).

[2] https://www.innoveneto.org/wp-content/uploads/2021/09/BGR-scheda-DAKU.pdf (nov. 2024).

[3] Il know-how tecnico e i materiali da costruzione sono dell'azienda DAKU Italia.

[4] Viene rilevata una vasta gamma di dati tra cui: il contenuto di umidità nel terreno, il livello d'acqua all'interno dei bacini di accumulo, la temperatura e l'umidità dell'aria e dati ambientali *in situ* (Toolbox, 2022).

[5] Valori percentuali forniti da EPA (United States Environmental Protection Agency) e utilizzati AdriAdapt, progetto finanziato dal Programma di cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Croazia 2014-2020.

[6] La procedura di test è definita dall'FLL:2008. Vengono simulate tre piogge a distanza di 24 ore l'una dall'altra della durata di 15 minuti su un campo prova con il solo substrato. Durante ogni pioggia lo strato di coltura viene sottoposto a fenomeni di intensità non inferiore ai 108 mm/ora (considerando una variabilità del 10%). Il risultato che determina il coefficiente di deflusso di un determinato substrato è la media delle tre prove.

[7] Valori stabiliti al punto 6.2.4 della UNI 11235:2015.

[8] DAKU Irriga ® è un sistema brevettato basato su principi delle NbS (Nature-based Solutions), che permette un'ottimale e naturale crescita dell'apparato radicale. L'acqua, erogata direttamente nel pannello di accumulo e drenaggio, viene rilasciata allo strato di filtro, e in seguito al substrato, tramite camini capillari.

[9] Il Building Information Modeling è una metodologia che permette di ottimizzare la produzione e la gestione collaborativa di opere nell'ambito delle costruzioni per il suo intero ciclo di vita (ISO 19650, UNI 11337). In fase di progetto consente verifiche dinamiche del BGR e in fase di gestione dell'immobile è implementabile con i dati rilevati dalla sensoristica.

[10] DAKU Intensivo.

[11] DAKU Irriga®.

[12] L'analisi è stata così definita e strutturata dal Consorzio di Bonifica Veneto Orientale.

[13] Il dato rilevato dal sensore di livello corrisponde alla quantità di acqua accumulata a m^2 al netto dell'ingombro degli elementi verticali che strutturano il pannello di accumulo. 10 mm/m^2 non corrispondono a 10 l/m^2, ma a 8,63 l/m^2. Va precisato che la quantità accumulata non è la massima accumulabile dal BGR: il giorno precedente la pioggia non è stata scaricata la totalità dell'acqua presente; pertanto, al momento della pioggia del 16/05/2024 all'interno del bacino di accumulo era già presente una quantità d'acqua pari a circa 20 mm.

[14] Ciò è possibile qualora l'altezza dell'accumulo sia dimensionata per bilanciare l'apporto dal substrato (grazie al ritardo di risposta di cui al punto precedente) allo scarico verso la rete pubblica pari a 10 l/(s*ha).

[15] Simulazione svolta con Marta Dal Bello, architetto e autrice della tesi di laurea dal titolo "Verde Futuro. Metodi innovativi per la gestione e la tutela dell'acqua attraverso l'integrazione delle Nature Based Solutions nella progettazione BIM", relatrice: Maria Antonia Barucco, correlatrici: Federica Crosato e Marta Possiedi.

REFERENCES

ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) (2024), *Meteo. Evento del pomeriggio di giovedì 16 maggio 2024: la sintesi*, pp. 1-5. Available at: https://www.arpa.veneto.it/notizie/in-primo-piano/meteo-evento-del-pomeriggio-di-giovedi-16-maggio-2024-la-sintesi (Accessed on 06/09/2024).

Giana, P. E., (2022). "Accordi collaborativi e modellazione informativa", Editoriale Scientifica.

Consiglio dell'Unione Europea (2023), *Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla ripristinazione della natura (PE-74-2023-REV-1)*. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CONSIL:PE_74_2023_REV_1 (Accessed on 06/09/2024).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Unite Kingdom and New York, NY, USA. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf (Accessed on 06/09/2024).

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (2019), *Il Clima Futuro in Italia: Analisi delle proiezioni dei modelli regionali*. Available at: https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/il-clima-futuro-in-italia-analisi-delle-proiezioni-dei-modelli-regionali (Accessed on 06/09/2024).

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (2021), *Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*, Available at: https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Mappe_peric.html (Accessed on 06/09/2024).

Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., and Zikic, N. (2021). BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, Available at http://bim.psu.edu (Accessed on 28/11/2024).

Author M. (2022) *Verde Hi-Tech. Ricerca, innovazione e cambio di paradigma,* in "Soluzioni resilienti per la gestione dell'acqua piovana", *Officina Toolbox,* Vol. n. 5, pp. 10-19, Available at: https://issuu.com/antefermaedizioni/docs/toolbox_05_web (Accessed on 25/11/2024).

World Bank (2021) A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience. World Bank, Washington, DC. http://hdl.handle.net/10986/36507 (Accessed on 25/11/2024).

BE-WoodEN: soluzioni innovative a basse emissioni di carbonio per la costruzione in legno con approccio New European Bauhaus

Giovanna Franco[1], https://orcid.org/0000-0002-2354-2801 giovanna.franco@unige.it
Alessandro Bosso[2] alessandro.bosso@art-er.it
Marta Casanova[1], https://orcid.org/0000-0002-5176-7047 marta.casanova@unige.it
Maria Canepa[1], https://orcid.org/0000-0003-2464-6757 maria.canepa@unige.it
Irene Diti[2], https://orcid.org/0000-0001-5477-5598 irene.diti@art-er.it
Margherita Marinelli[3], https://orcid.org/0009-0003-6032-1885 margherita.marinelli@housingeurope.eu
Alice Pittini[3], https://orcid.org/0000-0002-7582-1079 alice.pittini@housingeurope.eu
[1] Dipartimento Architettura e Design, Università di Genova, Italia
[2] ART-ER-Società Consortile Per Azioni, Bologna, Italia
[3] Housing Europe, European Federation of Public, Cooperative and Social Housing, Bruxelles, Belgium

Abstract. Il Green Deal europeo ha sottolineato l'importanza della circolarità nel settore edile, come mezzo per ridurre i rifiuti, incrementare l'impiego di materiali sostenibili e ridurre le emissioni di gas serra. L'obiettivo principale del progetto europeo presentato in questo articolo è quello di promuovere la decarbonizzazione e migliorare la circolarità implementando la formazione professionale nell'uso del legno nelle costruzioni e ricorrendo a soluzioni innovative, applicate al comparto di edilizia sociale, con l'obiettivo di superare gli ostacoli di natura tecnica (soprattutto nella promozione e nello sviluppo delle filiere locali del legno), economica, normative e culturale. Il progetto, i cui obiettivi principali sono la diffusione a larga scala delle conoscenze e l'incremento di competenze tecniche, si basa sui principi del New European Bauhaus, anche nell'applicazione a casi pilota, promuovendo processi di *co-design* secondo approcci partecipativi e inclusivi.

Parole chiave: Decarbonizzazione; Legno; "Capacity Building"; Circolarità; New European Bauhaus.

Obiettivi e fasi della ricerca

Il progetto LIFE Be-WoodEN ("Buildings and Education in Wood Ecosystem for the New European Bauhaus"), avviato a gennaio 2024 e di durata biennale[1], è finalizzato a promuovere la decarbonizzazione degli edifici e a migliorare la circolarità nel settore delle costruzioni superando le barriere che limitano l'impiego diffuso del legno. Tali difficoltà dipendono da ragioni culturali, tecniche ed economiche e investono l'intero processo di produzione (con particolare riferimento alle filiere locali), progettazione e installazione.

Per queste ragioni, e grazie a un solido partenariato europeo, il progetto mira ad accrescere conoscenze e competenze, sperimentando metodologie formative e progettuali innovative, seguendo l'approccio del *New European Bauhaus* (EC, 2023), perseguendo i seguenti obiettivi:

- la creazione di un polo NEB *Academy Pioneer* denominato "Sustainable Design with wood and bio-based materials" – NEB SUD Hub, in rete con gli altri poli europei[2];
- l'implementazione delle conoscenze e delle competenze per i professionisti nel settore;
- la promozione delle filiere produttive locali, con particolare riguardo alle regioni sedi della partnership (Emilia Romagna, Toscana e Liguria);
- la sperimentazione di approcci di design partecipato, coinvolgendo esperti e stakeholder interessati allo sviluppo partecipativo di soluzioni progettuali per la vivibilità dei luoghi, con un focus sull'edilizia sociale;
- la valutazione della replicabilità degli strumenti e degli approcci sviluppati in altre Regioni e Paesi dell'UE.

Per raggiungere tali obiettivi la ricerca è stata strutturata in diverse fasi, a cascata e in parallelo, che possono essere sinteticamente espresse in:

- una fase di "capacity building" per valorizzare i benefici

BE-WoodEN: innovative low carbon solutions in wood construction through the NEB approach

Abstract. The European Green Deal has emphasised the importance of circularity in building and construction, as a means to reduce waste, improve sustainable materials and reduce GHG emissions. The main objective of the project presented is to promote decarbonisation and improve circularity by proposing training and innovative solutions suitable for large building stocks, mainly social housing, overcoming the barriers in the use of wood (cultural, technical, economic and regulatory, which hinder promotion of the wood supply chain in several countries). The project is based on New European Bauhaus values, and its implementation follows the principles expressed by the NEB Compass, increasing knowledge and skills on the topic, and promoting a new way of design following a participatory approach.

Keywords: Decarbonisation; Wood; Capacity building; Circularity; Policies.

Object and aims of the research

LIFE Be-WoodEN project ("Buildings and Education in Wood Ecosystem for the New European Bauhaus") started in January 2024 for a two-year period[1]. It aims to promote the decarbonisation of buildings and improve circularity in the building sector by overcoming barriers that prevent the widespread use of wood and bio-based materials. These obstacles depend on cultural, technical and economic reasons, and affect the entire production process (with special reference to local supply chains), including design and construction.

Considering the above, and thanks to a solid European partnership, the project aims at increasing knowledge and skills, testing innovative training and designing methodologies, following the New European Bauhaus approach. The objectives pursued include:

- establishing a new NEB Academy Pioneer hub named Sustainable Design with wood and bio-based materials – NEB SUD Hub by networking with other European hubs[2];
- increasing knowledge and skills of professionals;
- promoting local production chains, with special emphasis on the Italian regions where the partnership is based (Emilia Romagna, Tuscany and Liguria);
- experimenting with participatory design approaches, involving experts and stakeholders interested in the development of design solutions for liveable places, with a focus on social housing;
- assessing the replicability of developed tools and approaches in other Regions and EU Countries.

To achieve these objectives, the research is structured in several phases,

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16587

ambientali legati all'adozione del legno nella progettazione di spazi di vita privati e collettivi;
– una fase sperimentale di applicazione delle conoscenze acquisite attraverso azioni pilota nelle regioni Emilia Romagna e Liguria;
– una riflessione sulla replicabilità dei risultati a livello nazionale ed europeo, sugli impatti e sui benefici ambientali a larga scala.

Lo stato dell'arte nei campi di interesse del progetto

Neutralità climatica, decarbonizzazione, impiego del legno nelle costruzioni ed esigenze della comunità (con particolare attenzione alle categorie "fragili") sono i principali campi di interesse del progetto, a partire dallo stato delle conoscenze tematiche di seguito sintetizzato.

Processi di decarbonizzazione

La decarbonizzazione è il processo di riduzione delle emissioni di carbonio, in particolare di CO_2, per mitigare gli effetti del cambiamento climatico, obiettivo cruciale per la transizione verso un'economia sostenibile. La decarbonizzazione può essere perseguita con varie strategie e tecnologie, in diversi settori e con approcci differenti. Il settore delle costruzioni consuma grandi quantità di energia non rinnovabile con significative emissioni di CO_2 (Huang *et al*., 2018); per questo il legno rappresenta un materiale da costruzione cruciale nel processo di decarbonizzazione, oltre a fornire numerosi benefici ambientali (Himes and Busby, 2020). In una fase iniziale, gli studi sugli impatti del cambiamento climatico si sono concentrati sulla fase d'uso degli edifici, in particolare sulle emissioni di GHG (Gas a Effetto Serra), ricorrendo a sistemi di isolamento a beneficio del controllo climatico *indoor*. Man mano che le emissioni operative di GHG degli edifici diminuiscono, viene prestata maggiore attenzione alle cosiddette emissioni di "GHG incorporate", ovvero le emissioni derivanti dalla produzione e dalla lavorazione delle materie prime (Myllyviita *et al*., 2022). Il ciclo di vita del legno, dall'estrazione fino alla fine della vita utile del prodotto, ha un impatto inferiore rispetto a molti altri materiali da costruzione. Inoltre, alla fine della sua vita utile, il legno può essere riciclato o riutilizzato, riducendo ulteriormente il suo impatto ambientale (Forster *et al*., 2023). Le tecniche moderne di trattamento e lavorazione del legno ne aumentano la durata e la versatilità, consentendone l'utilizzo in una vasta gamma di applicazioni edilizie. La possibilità di prefabbricare componenti in legno consente di ottimizzare i processi di costruzione, riducendo gli sprechi e aumentando l'efficienza energetica nei cantieri.

La filiera foresta-legno in Italia

In Italia, le foreste coprono il 39% del territorio nazionale (circa 11,4 milioni di ettari di cui il 32% sottoposta a protezione) (IFNC2015), percentuale in costante aumento (+5% nell'ultimo decennio). Tuttavia, solo il 15% della superficie forestale è sottoposto a piani di gestione e circa il 40% delle foreste italiane è privo di qualsiasi tipo di pratica selvicolturale a causa del progressivo abbandono delle attività agricole e forestali (Corona and Berti, 2010). Attualmente l'Italia dipende fortemente dall'estero per molte componenti di base per i settori della produzione e delle costruzioni, importando l'80% del proprio legname per un valore complessivo di 3 miliardi di euro (CREA, 2021). La raccolta del legno è pari a circa un terzo dell'incremento fo-

cascading and in parallel, which can be succinctly expressed as:
– a "capacity building" phase to enhance the environmental benefits of adopting wood in the design of private and collective living spaces;
– an experimental phase to apply the knowledge acquired through pilot actions in Emilia Romagna and Liguria regions;
– a reflection on the replicability of results at the national and European level, on the impacts and environmental benefits at a large scale.

State of the art in the fields of interest of the project

Climate neutrality, decarbonisation, use of wood in construction, and community needs (with special focus on 'fragile' categories) are the project's main areas of interest, starting from the state of the art summarised below.

Decarbonisation processes

Decarbonisation is the process of reducing carbon emissions, particularly CO_2, to mitigate the effects of climate change, a crucial goal for the transition towards a sustainable economy. Decarbonisation can be pursued through various strategies and technologies, in different sectors and with various approaches. The construction sector consumes large amounts of non-renewable energy and leads to significant CO_2 emissions (Huang *et al*., 2018). Hence, wood is emerging as a crucial building material in the construction sector's decarbonisation process, and offers numerous environmental benefits (Himes and Busby, 2020). At an early stage, studies on the climate change impacts of buildings have concentrated on the use stage of the buildings, particularly the GHG (Greenhouse Gases) emissions related to heating and cooling. Indeed, better insulation reduces the need for heating and cooling, resorting to insulation systems for the benefit of indoor climate control. As the operational GHG emissions of buildings decrease due to decarbonisation of the energy sector and energy-efficient construction techniques, more attention is being given to the so-called embodied GHG emissions arising from the manufacturing and processing of raw materials (Myllyviita *et al*., 2022). The life cycle of wood, from extraction to the end of the product's useful life, is less impactful compared to many other building materials. At the end of its useful life, wood can be recycled or reused, further reducing its environmental impact (Forster *et al*., 2023). Modern techniques for treating and processing wood increase its durability and versatility as a building material, allowing its use in a wide range of construction applications. The possibility of prefabricating wood components allows to optimise construction processes, reducing waste and increasing the energy efficiency of construction sites.

Wood supply chain in Italy

Italian forests cover about 39% of the national area (approximately 11.4 million hectares) (IFNC2015), and they are increasing (+5% in the last decade). However, only 15% of the forest area is subject to management plans, and about 40% of Italy's forests are devoid of any silvicultural practices due to the progressive abandonment of agricultural and forestry activities (Corona and Berti, 2010).

Currently, Italy is heavily dependent on foreign countries for many basic components for the production and construction sector, importing 80% of

restale (media Europa meridionale: 62-67%) (RaF Italia, 2019) anche se negli ultimi anni le politiche nazionali per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici hanno portato a una crescente domanda. Il legname italiano proviene principalmente da Trentino-Alto Adige, Lombardia e Calabria, con oltre 14.000 lavoratori impiegati in 6.000 aziende forestali private e circa 43.000 dipendenti pubblici. L'Italia è leader nella certificazione della sostenibilità, posizionandosi al secondo e quinto posto come numero di aziende certificate rispettivamente FSC (*Forest Stewardship Council*) e PEFC (*Programme for Endorsement of Forest Certification Schemes*). Le pratiche di sostenibilità supportano la competitività delle industrie del legno migliorando la circolarità del settore e allineandolo agli obiettivi del "Testo unico in materia di foreste e filiere forestali" (2018) e della Strategia Forestale Nazionale (SFN). In questo contesto, considerare nuove *policy* e strumenti che tengano conto del valore ecosistemico e multifunzionale delle foreste, della gestione forestale sostenibile, della valorizzazione della filiera del legno è una necessità urgente.

Community engagement: la popolazione anziana nel social housing

Il progetto si rivolge specificamente, nelle azioni pilota, alla popolazione anziana e agli utenti fragili. Nel corso degli ultimi vent'anni, la percentuale di persone di età maggiore ai 65 anni è passata dal 16% nel 2002 al 21% nel 2022, con un'età media di 44.5 anni nel 2023 (Eurostat, 2023; 2024). Secondo le proiezioni più recenti, nel 2100, l'età mediana nell'Unione Europea raggiungerà i 50.2 anni e il 32.5% dei residenti avrà più di 65 anni (ibid.).

Pertanto, politiche e interventi dovrebbero promuovere l'adattamento degli spazi costruiti ai bisogni di una popolazione che invecchia, con mobilità limitata, isolamento sociale e povertà energetica (D'Hombres et al, 2021; Eurostat, 2022; García Lepetit *et al*., 2022; Housing Europe, 2021).

Le organizzazioni che si occupano di edilizia sociale, pubblica e cooperativa, in Europa hanno iniziato a muoversi in questa direzione attuando una serie di azioni quali il 'right-sizing' (la possibilità per gli anziani di trasferirsi in un'abitazione che soddisfi meglio i propri bisogni), come l'olandese Vidomes, che ha costituito al suo interno un'agenzia che si occupa di promuovere la mobilità degli anziani (AEDES, 2016). La formazione sugli usi efficienti degli elettrodomestici può aiutare i residenti a massimizzare i risparmi energetici: la francese Vosgelis offre ai suoi inquilini un appartamento educativo e un approccio simile è stato adottato in Germania nel progetto DREEAM (Eurhonet, 2023; European Affordable Housing Consortium, SHAPE-EU, 2024). Gli alloggi multigenerazionali favoriscono la cura a livello comunitario e l'inclusione. Esempi sono Sällbo in Svezia, dove i residenti si impegnano a trascorrere del tempo insieme, il complesso BIRD in Italia, dove le famiglie più giovani dedicano il loro tempo ad assistere i vicini anziani, e Calico in Belgio, che prevede la coabitazione di diversi gruppi vulnerabili (madri single, adulti anziani e famiglie a basso reddito) in un modello di assistenza guidato dalla comunità (Community Land Trust Bruxelles, n.d.; Complesso BIRD – Fondazione Brescia Solidale Onlus, 2024; Robertson, 2020). La letteratura dimostra che tali esperienze possono hanno un impatto positivo sulla salute mentale e fisica (Wang e MacMillan 2013) anche degli anziani affetti da demenza, come nel com-

its timber at a value of 3 billion euros (CREA, 2021). According to the recent report on the Italian Forests (RaF Italia, 2019), the wood uptake is around ⅓ (from 18.4% to 37.4%) of the forest increment, less than the Southern European average (62-67%). On the other hand, national policies for building energy efficiency improvement led to an increasing demand for wood.

Italian wood mainly comes from Trentino-Alto Adige, Lombardy and Calabria with around 6,000 private forestry companies employing more than 14,000 workers, while public forestry employees count about 43,000 subjects. Italy is also a leader in sustainability certification, ranking second and fifth in the number of companies certified by the FSC (Forest Stewardship Council) and PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification Schemes), respectively. Sustainability practices support the competitiveness of the wood industries by enhancing the circularity of the wood sector. This approach aligns with the main objectives of the Italian Forest Law (2018) and the National Forest Strategy (NFS).

In this context, considering new policies and tools that take into account the ecosystem and multifunctional value of forests, sustainable forest management, and the enhancement of the wood supply chain is an urgent need.

Community engagement: the elderly population in social housing

The project specifically targets the elderly population and fragile users in its pilot actions. Over the last 20 years, the share of people aged over 65 in EU Member States rose from 16% in 2002 to 21% in 2022, with a median age of 44.5 years in 2023 (Eurostat, 2023; Eurostat, 2024). According to the most recent projections, by 2100 the median age in the EU will reach 50.2 years and 32.5% of residents will be aged 65+ (ibid.).

Hence, policies and measures should promote adaptation of the built environment to the needs of an ageing population by taking into account limited mobility, social isolation, and energy poverty (D'Hombres et al, 2021; Lepetit *et al*., 2022; Housing Europe, 2021).

Social, public, and cooperative housing providers across Europe started moving in this direction by implementing several actions that can complement deep-energy renovations, such as right-sizing (the possibility for elderly residents to move into dwellings that better fulfil their needs). To this end, the Dutch provider Vidomes has set up a real estate agency that promotes mobility for elderly people on the housing market (AEDES, 2016). Training on how to efficiently use home appliances can help elderly residents increase energy savings. The French provider Vosgelis offered its tenants an educational apartment in this regard, and in Germany a similar approach was implemented as part of the EU funded DREEAM project (Eurhonet, 2023; European Affordable Housing Consortium, SHAPE-EU, 2024). Moreover, multi-generational housing fosters community care and inclusion. Examples include Sällbo in Sweden, where residents formally agree to spend some time per week together; Complesso BIRD in Italy, where younger families allocate their time to assist their elderly neighbours, and Calico in Belgium, which foresees the co-habitation of different vulnerable groups (single moth-

01 | Paesi Bassi -Utrecht-HUIS ASSENDORP FULL OF LIFE – handbook per gli utenti multi-generazionali

| 01

plesso residenziale di Hemsworth Court in Irlanda del Nord (Housing Europe, 2016) (Fig. 1).

L'applicazione di metodologie innovative e i processi di co-creazione

Nuovi approcci alle tematiche di progetto basati sui principi del NEB richiedono nuovi strumenti, includendo i modelli di business, che possano fornire benefici in termini di qualità, vivibilità e sostenibilità.

Attraverso due azioni pilota, specificamente legate al territorio, il progetto sperimenta approcci partecipativi, focalizzandosi su due diverse scale. La prima azione pilota – in Emilia Romagna – mira a implementare e validare lo sviluppo della filiera locale del legno per l'industria delle costruzioni valutando la fattibilità dell'adozione di strumenti di valorizzazione ambientale come leva per supportare il settore delle le costruzioni. La collaborazione con la Regione permette di valuta la replicabilità del caso studio su larga scala. La seconda azione pilota – in Liguria – intende sperimentare, nei primi mesi del 2025, approcci progettuali innovativi in forme di *co-design* in un edificio di recente acquisito dall'Azienda Regionale Territoriale per l'Edilizia di Imperia da destinare ad alloggi per anziani. In questa azione è adottata la metodologia del *Challenge Based Learning* (Puente Gómez *et al*., 2023; Gallagher and Savage, 2020; Rådberg *et al*., 2018), secondo un processo iterativo che mira a sviluppare competenze trasversali e innovative, quali il pensiero critico, la creatività e la capacità di affrontare problemi complessi (Gallagher and Savage, 2020).

I gruppi multidisciplinari, formati da architetti, designer, artigiani, artisti e innovatori culturali progetteranno la riqualificazione degli spazi comuni interni ed esterni dell'immobile, collaborando con gli stakeholder: responsabili di politiche territoriali, funzionari di enti pubblici, aziende attive nella produzione dei componenti in legno, imprese di costruzioni, cittadini riuniti in associazioni, utenti finali (Fig. 2). La soluzione giudicata vincitrice sarà realizzata entro la conclusione del progetto (gennaio 2026) e portato in mostra in un evento finale a Bruxelles.

Il Laboratorio innovativo sulla valorizzazione delle performance ambientali nella filiera legno

Durante questa attività, in corso, è sviluppata una 'cassetta degli attrezzi' (*toolkit*), per descrivere gli strumenti di valorizzazione delle performance ambientali del legno: certificazioni di gestione forestale sostenibile (PEFC, FSC), certificazioni ambientali aziendali (EMAS e ISO14001), eco-labels (ISO14067 carbon footprint, EU Ecolabel), certificazioni ambientali degli edifici (LEED, ITACA, BREEAM) e mercato volontario dei crediti di carbonio. L'intera filiera del legno è stata analizzata e sono stati identificati diversi segmenti: a) produzione (gestione forestale, importazione di legname); b) prima lavorazione (segherie, legna da ardere, cippato); c) costruzioni e strutture; d)

ers, older adults and low-income families) in a community-led model of care (*Community Land Trust Bruxelles*, n.d.; *Complesso BIRD – Fondazione Brescia Solidale Onlus*, 2024; Robertson, 2020). Literature shows they also have a positive impact on mental and physical health (Wang and MacMillan 2013), including that of older people affected by dementia, as shown by the Hemsworth Court housing development in Northern Ireland (Housing Europe, 2016) (Figs. 1).

The application of innovative methodologies and co-creation processes

New approaches to project issues based on NEB principles require new tools, including business models, that can provide benefits in terms of quality, liveability and sustainability.

The project adopts two pilot actions, specifically related to the territory, to experiment with participatory approaches, focusing on two different scales. The first pilot action – in Emilia Romagna – aims to implement and validate the development of the local wood supply chain for the construction industry by assessing the feasibility of adopting environmental enhancement tools as a lever to support the construction sector. Collaboration with the region allows the replicability of the case study to be evaluated on a large scale. The second pilot action – in Liguria – plans on testing innovative design approaches in co-design forms, in early 2025, in a building recently acquired by the Azienda Regionale Territoriale per l'Edilizia of Imperia to be used for housing for the elderly. In this action, the Challenge Based Learning methodology is adopted (Puente Gómez *et al*., 2023; Gallagher and Savage, 2020; Rådberg *et al*., 2018) according to an iterative process that aims to develop cross-disciplinary and innovative skills, such as critical thinking, creativity and the ability to tackle complex problems (Gallagher and Savage, 2020). The multidisciplinary teams, made up of architects, designers, craftsmen, artists and cultural innovators, will design the renovation of the building's interior and exterior common spaces, collaborating with stakeholders, namely territorial policy makers, officials of public agencies, companies active in the production of wood components, construction companies, citizens gathered in associations, and end users (Fig. 2). The winning solution will be implemented by the end of the project (January 2026) and exhibited in a final event in Brussels.

Innovation lab on enhancing environmental performances in the wood supply chain

During this ongoing activity, a toolkit is being developed to describe the tools for enhancing the environmental performance of wood, namely sustainable forest management certifications (PEFC, FSC), corporate environmental certifications (EMAS and ISO14001), eco-labels (ISO14067 carbon footprint, EU Ecolabel), building environmental certifications (LEED, ITACA, BREEAM), and voluntary carbon credit market. The entire wood supply chain was analysed and several segments were identified: a) production (forest management, timber imports); b) primary processing (sawmills, firewood, wood chips); c) construction and structures; d) building and furniture finishes (flooring, panelling, outdoor furniture); e) pan-

02 | Imperia, Liguria. Individuazione dell'edificio di proprietà dell'Azienda Territoriale Regionale per l'Edilizia destinato ad alloggi per anziani e oggetto di azione pilota nel progetto LIFE BE-WoodEN

03 | Laboratorio innovativo sulla filiera produttiva del legno

| 02

finiture per l'edilizia e l'arredamento (pavimentazioni, boiserie, arredi per esterni); e) pannelli; f) mobili e arredi; g) imballaggi. Rappresentanti delle associazioni di categoria, insieme a enti di certificazione e amministrazioni pubbliche, hanno partecipato a incontri dedicati. Il *toolkit* sviluppato collega ogni fase della filiera del legno agli strumenti più adatti ed efficaci per valorizzare le prestazioni ambientali. Gli attori coinvolti hanno analizzato la guida e gli strumenti proposti, fornendo feedback sulla loro implementazione nel settore edilizio. Opportunità e ostacoli sono stati identificati sulla base di un approccio SWOT attraverso Focus Group dedicati. Si rileva come le certificazioni rappresentino uno degli strumenti più conosciuti per aumentare la competitività dei prodotti in legno, ma devono essere supportate da azioni concrete di valorizzazione. D'altro canto, l'attuazione della Strategia Forestale Nazionale richiede una pianificazione strutturata della gestione forestale sostenibile, con l'obiettivo di ampliare la disponibilità di legno certificato per il settore edilizio, riducendo la dipendenza da fonti estere e valorizzando il legno locale. I risultati delle discussioni costituiscono la base conoscitiva per lo sviluppo dell'azione pilota volta a valutare la fattibilità di una filiera del legno sostenibile nella regione Emilia-Romagna per l'edilizia sociale. Il *toolkit* sarà inoltre presentato a enti pubblici, aziende e professionisti attraverso un *workshop* tecnico regionale previsto nella primavera del 2025 (Fig. 3).

Risultati conseguiti e limiti della ricerca

Pur non essendo concluso, il progetto ha conseguito primi risultati interessanti, nella fase di "capacity building" e nell'avvio delle azioni pilota.

Per raggiungere un pubblico ampio e diversificato sono in fase di lancio alcuni podcast che, ricorrendo a un linguaggio divulgativo adatto a un'utenza non esperta, trattano i temi della sostenibilità ambientale del legno, del carbonio sequestrato, delle innovazioni tecnologiche anche volte alla riduzione degli scarti e alla minimizzazione degli impatti.

Già conclusa e in fase di disseminazione è l'attività di "capacity building", incentrata su tre tematiche principali: NEB e placemaking, edifici sostenibili e impiego del legno nelle costruzioni; i *webinar* formativi e accessibili a tutti, erogati in doppia lingua, sono già disponibili sulla piattaforma FormaGenova[3] e saranno a breve pubblicati sulla piattaforma europea legata ad *Architects Council of Europe* (ACE). Le attività formative vedranno successivi momenti di approfondimento e di sperimentazione attraverso workshop e visite di studio organizzati dai partner di progetto preparatorie all'azione pilota progettuale.

Tuttavia, si riscontrano alcuni limiti soprattutto legati a fattori di scala e di tipo economico. Il progetto si sviluppa in un'areale che offre un grande potenziale in termini di superfici boscate;

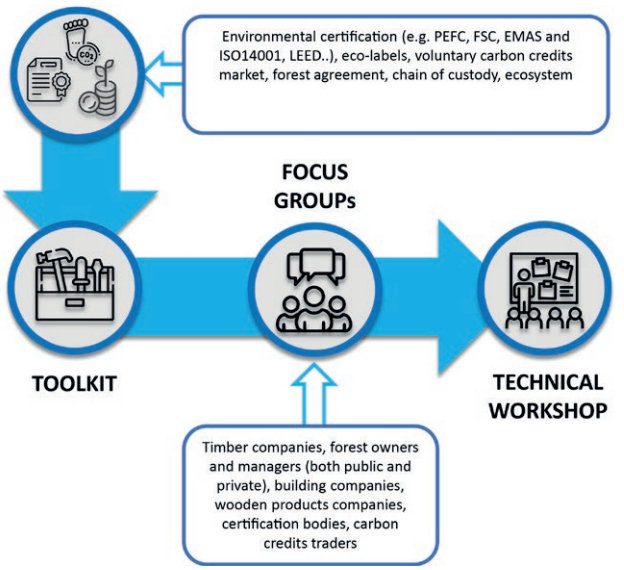
els; f) furniture and furnishings; and g) packaging. Representatives of trade associations, along with certification bodies and government departments, participated in dedicated meetings. The toolkit developed links each stage of the wood supply chain to the most suitable and effective tools for enhancing environmental performance.

Stakeholders analysed the proposed guide and tools, and provided feedback on their implementation in the building sector. Opportunities and obstacles were identified based on a SWOT approach through dedicated Focus Groups. It is noted that certifications are one of the best known tools for increasing the competitiveness of wood products, but they need to be supported by concrete enhancement actions. Moreover, the implementation of the National Forest Strategy requires structured planning of sustainable forest management, with the aim of expanding the availability of certified wood for the building sector, reducing dependence on foreign sources, and enhancing the value of local wood. The results of the discussions form the knowledge base for the development of the pilot action to assess the feasibility of a sustainable wood supply chain in the Emilia-Romagna region for social housing. The toolkit will also be presented to public agencies, companies and professionals during a regional technical workshop planned for spring 2025 (Fig. 3).

Achievements and limits of the research

Despite being still in progress, the project has achieved interesting initial results in the "capacity building" phase and launch of pilot actions.

In order to reach a wide and diverse



| 03

tuttavia, il settore delle costruzioni in legno è fortemente dipendente dal mercato estero. La corretta gestione e l'aumento della consapevolezza della qualità delle risorse locali, associata a un cambio di visione sull'approccio costruttivo attualmente in uso (abete rosso come principale risorsa, non propriamente locale e ultimamente anche soggetto a forti stress fitopatologici) risultano tra le maggiori sfide del progetto per una sua futura replicabilità in altri contesti territoriali.
Il progetto LIFE BE-WOODEN, peraltro, ha una durata di soli due anni, evidentemente non sufficienti per poter avviare una reale implementazione nel settore delle costruzioni e le azioni pilota possono rivelarsi come episodi sporadici e con carattere di unicità.

Impatti della ricerca e futuri sviluppi

Il progetto avrà impatti di scala e natura diverse, alcuni facilmente misurabili, altri con effetto a cascata. Il primo corrisponde al numero di utenti coinvolti nelle attività formative, stimato in almeno 2.000 a livello europeo tra professionisti, agronomi e forestali, tecnici e impiegati presso enti pubblici. Nei primi due mesi dalla pubblicazione dei webinar sono stati raggiunti, solo in Italia, 300 professionisti, in maggioranza architetti, di cui il 30% è interessato a seguire le attività formative successive e partecipare al CBL.
Un secondo impatto, di natura ambientale, è legato ai benefici indotti dall'impiego del legno e dei materiali a derivazione biologica nel mondo delle costruzioni. Il progetto mira a dimostrare, nelle due azioni pilota, l'utilizzabilità del legno anche nella costruzione multi piano, raggiungendo, anche con azioni di disseminazione a larga scala, i principali attori del mondo della costruzione e della produzione.

La partecipazione attiva di un'Autorità Regionale prima in Italia ad aver avviato, nel 2022, un processo di "capacity building" basato sui valori NEB e con il coinvolgimento degli attori locali (Regione Liguria) aiuta a costruire e implementare una rete di buone pratiche sul territorio, a partire dall'azione pilota a Imperia, considerando che in Europa circa 25 milioni di appartamenti sono gestiti da operatori del social housing e che in Italia le cooperative di edilizia sociale gestiscono circa 758.000 edifici (per circa 1,2 milioni di famiglie).

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI DI AUTORE

Il progetto LIFE BE-WoodEN è finanziato dalla CE nell'ambito di LIFE 2023-PLP-Bauhaus-Phoenix-Emerald – New European Bauhaus – LIFE nel settore dell'edilizia e delle costruzioni. Responsabile del progetto: Università di Genova. Partnernariato: Regione Liguria, ART-ER Società Consortile per Azioni, Università degli Studi di Firenze, FederLegnoArredo, Housing Europe, Università del Litorale di Primorska, Politechnika Wroclawska.

Co-finanziato dall'Unione Europea. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia esclusivamente quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione Europea o del CINEA. Né l'Unione Europea né l'autorità che ha concesso il finanziamento possono essere ritenute responsabili.

Attribuzione del testo. Obiettivi e scopi della ricerca: Giovanna Franco; *Processi di decarbonizzazione*: Maria Canepa; *La filiera foresta-legno in Italia* e *Laboratorio innovativo sulla valorizzazione delle performance ambientali nella filiera*: Alessandro Bosso e Irene Diti; *Community engagement: la popolazione anziana nel social housing*: Margherita Marinelli e Alice Pittini; L'applicazione di metodologie innovative e i processi di co-creazione: Giovanna Franco e Marta Casanova; Risultati conseguitie limiti della ricerca; Impatti della ricerca e futuri sviluppi: tutti gli autori.

audience, a number of podcasts are being prepared, which, using a popular language suitable for a non-expert audience, deal with the issues of environmental sustainability of wood, sequestered carbon, and technological innovations also aimed at reducing waste and minimising impact.
Already completed, the "capacity building" activity is being disseminated, focused on three main themes, precisely, NEB and placemaking, sustainable buildings and use of wood in construction. The training and open access webinars, delivered in two languages, are already available on the FormaGenova[3] platform, and will soon be published on the European platform linked to the Architects Council of Europe (ACE). The training activities will witness subsequent moments of in-depth study and experimentation through workshops and study visits organised by the project partners, preparatory to the project's pilot action.
However, there are some limitations mainly related to scale and economic factors. The project is developed in territories that offer great potential in terms of forested areas. However, the wood construction sector is highly dependent on the foreign market. Proper management and increased awareness of the quality of local resources, coupled with a change of view on the construction approach currently in use (spruce as the main resource, not properly local and, lately, also subject to severe phytopathological stress), are among the project's major challenges for its future replicability in other territorial contexts. Moreover, the LIFE BE-WOODEN project has a duration of only two years, which is clearly not enough to initiate actual implementation in the construction sector. The pilot actions may turn out to be sporadic episodes with unique character.

Research impacts and future developments

The project will have impacts of different scale and nature, some easily measurable, others with a cascading effect. The first corresponds to the number of users involved in the training activities, at least 2,000 are estimated at the European level among professionals, agronomists and foresters, technicians and employees in public bodies. In the first two months after the webinars were published, 300 professionals, mostly architects, were reached in Italy alone, 30% of whom are interested in following the subsequent training activities and participating in the CBL.
A second impact, environmental in nature, is related to the benefits induced by the use of wood and bio-derived materials in the construction world. The project aims to demonstrate, in the two pilot actions, the usability of wood also in multi-story constructions, reaching, including through large-scale dissemination actions, the main actors in the world of construction and production.
The active participation of a Regional Authority that is the first in Italy to have launched, in 2022, a "capacity building" process based on NEB values, also involving local actors (Liguria Region), helps to build and implement a network of good practices on the territory, starting with the pilot action in Imperia. Indeed, in Europe about 25 million apartments are managed by social housing operators, and in Italy social housing cooperatives manage about 758,000 buildings (for about 1.2 million households).

NOTE

[1] Available at: https://lifebewooden.unige.it

[2] Available at: https://neb.academy/hubs

[3] Available at: https://formagenova.it/ulp_course_categories/be-wooden/

REFERENCES

AEDES (2016), *Dutch social housing in a nutshell – Examples of social innovation for people and communities*, AEDES, The Hague, p. 8. Available at: http://aedes.nl/media/document/dutch-social-housing-nutshell-aedes-2016 (Accessed on 01/08/2024).

Community Land Trust Bruxelles | Calico. (n.d.). Available at: https://www.cltb.be/calico/?lang=en (Accessed on 01/08/2024).

Complesso BIRD – Fondazione Brescia Solidale Onlus. (2024, January 26). Fondazione Brescia Solidale Onlus. Available at: https://www.fondazionebs-solidale.it/le-nostre-strutture/complesso-bird/ (Accessed on 03/08/2024).

Corona, P., and Berti, S. (2001), "Silviculture: Forest products, Certification and Wood chain in Italy", *Italian Journal of Forest and Mountain Environments*, Vol. 65(2); pp. 245-250. Available at: doi:10.4129/ifm.2010.2.16 (Accessed on 31/07/2024).

CREA 2021, *Annuario dell'agricoltura italiana 2021*, Volume LXXV. Available at: https://www.crea.gov.it/documents/68457/0/Annuario_CREA_2021_Volume_LXXV.pdf/49fc57e1-a325-50f4-22bb-d044d0f24dbe?t=1671527592245 (Accessed on 02/08/2024).

Decreto Legislativo 03.04.2018, n. 34 Testo unico in materia di foreste e filiere forestali. (18G00060) (GU Serie Generale n.92 del 20-04-2018). Available at: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/04/20/18G00060/SG (Accessed on 26/07/2024)

D'Hombres, B., Barjaková, M., and Schnepf, S. V. (2021). "Loneliness and social isolation: an unequally shared burden in Europe". *SSRN Electronic Journal,* IZA Discussion Paper No. 14245, pp.18. Available at: https://doi.org/10.2139/ssrn.3823612 (Accessed on 03/08/2024).

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT

The LIFE BE-WoodEN project is funded by the EC under LIFE 2023-PLP-Bauhaus-Phoenix-Emerald – New European Bauhaus – LIFE in Building and Construction. Project leader: University of Genoa. Partnership: Liguria Region, ART-ER Società Consortile per Azioni, University of Florence, FederLegnoArredo, Housing Europe, Primorska Littoral University, Politechnika Wroclawska.

Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are, however, those of the author(s) only, and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Text attribution. Objectives and aims of the research: Giovanna Franco; Decarbonisation processes: Maria Canepa; The forest-wood supply chain in Italy and Innovative workshop on enhancing environmental performance in the supply chain: Alessandro Bosso and Irene Diti; Community engagement: the elderly population in social housing: Margherita Marinelli and Alice Pittini; The application of innovative methodologies and co-creation processes: Giovanna Franco and Marta Casanova; Achievements, limitations and impacts: all authors.

NOTES

[1] Available at: https://lifebewooden.unige.it

[2] Available at: https://neb.academy/hubs

[3] Available at: https://formagenova.it/ulp_course_categories/be-wooden/

Eurhonet (2024). *Educational apartment: Independent living for older people*, Vosgelis, France. Available at: https://www.eurhonet.eu/05/10/2023/7986/educational-apartment-independent-living-for-older-people/ (Accessed on 31/07/2024).

European Affordable Housing Consortium, SHAPE-EU. (2024, June 19). *NettelbeckPlatz – European Affordable Housing Consortium, SHAPE-EU*. Available at: https://shape-affordablehousing.eu/nettelbeckplatz/ (Accessed on 31/07/2024).

European Commission (2023). *The New European Bauhaus Compass*, Bruxelles. Available at: https://new-european-bauhaus.eu-ropa.eu/get-involved/use-compass_en (Accessed on 26/07/2024).

European Commission (2024). *NEB Academy Alliance*, Horizon Europe GA #101160532 Available at: https://neb.academy/alliance (Accessed on: 6/1/2025).

Eurostat (2023). *Demography of Europe – 2023 edition*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/demography-2023#ageing-population (Accessed on 26/07/2024).

Eurostat (2024). *Population projections in the EU*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=497115#Population_projections (Accessed on 26/07/2024).

Forster, E.J., Healey, J.R., Newman, G. et al. (2023), "Circular wood use can accelerate global decarbonisation but requires cross-sectoral coordination" *Nat Commun* 14, 6766, pp. 1-13. Available at: https://doi.org/10.1038/s41467-023-42499-6 (Accessed on 03/08/2024).

Gallagher, S.E., Savage, T. (2020). "Challenge-based learning in higher education: an exploratory literature review", *Teaching in Higher Education*, Vol. *28*(6), pp.1135–1157. Available at: https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1863354 (Accessed on 19/11/2024).

Himes, A. and Busby G. (2020). "Wood buildings as a climate solution", *Developments in the Built Environment*, Volume 4, pp. 1-7. Available at: https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100030 (Accessed on 02/08/2024).

Housing Europe (2021). *Ageing well at home – Vol. 5 of the Series Housing in the post-2020 EU,* pp.1-10. Available at: https://www.housingeurope.eu/wp-content/uploads/2024/11/Ageing%20well%20at%20home.pdf (Accessed on 26/07/2024).

Huang L., Krigsvoll G., Johansen F., Liu Y. and Zhang X. (2018). "Carbon emission of global construction sector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 81, pp. 1906-1916. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001 (Accessed on 26/07/2024).

INFC2015 – *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Arma dei Carabinieri – Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari & CREA – Centro di ricerca Foreste e Legno. Available at: https://www.inventarioforestale.org/statistiche_INFC (Accessed on 26/07/2024).

Lepetit, N. G., Biard, E., Aparisi-Cerdá, I., Brazzini, T., Montagud, C. and Gómez-Navarro, T. (2022). "Measuring the discomfort of energy vulnerable elderly people. Recommendations for solutions". *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, Vol. 1085, No. 1, p.8. Available at: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012016 (Accessed on 15/07/2024).

Myllyviita, T., Hurmekoski, E. and Kunttu, J. (2022). "Substitution impacts of Nordic wood-based multi-story building types: influence of the decarbonization of the energy sector and increased recycling of construction materials", *Carbon Balance Manage,* Volume 17, 4, pp. 1-13. Available at: https://doi.org/10.1186/s13021-022-00205-x (Accessed on 02/08/2024).

Nußholz, J., Freja Nygaard Rasmussen L.K and Leonidas Milios (2019). "Circular Building Materials: Carbon Saving Potential and the Role of Business Model Innovation and Public Policy". *Resources, conservation and recycling,* Vol. 141. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344918304099 (Accessed on 02/08/2024).

Puente Gómez, S. M., Doulougeri, K. and Bruns, M. (2022), "Coaching practices in challenge-based learning: Characteristics in students' projects", *Proceedings of the 18th CDIO International Conference*, Chalmers University of Technology, pp. 991-1002. Available at: http://w.cdio.org/knowledge-library/documents/coaching-practices-challenge-based-learning-characteristics-students%E2%80%99 (Accessed on 26/07/2024).

Rådberg, K.K., Lundqvist, U., Malmqvist, J. and Hagvall Svensson, O., (2018), "From CDIO to challenge-based learning experiences – expanding student learning as well as societal impact?", *European Journal of Engineering Education*, Vol. 45, pp. 22-37. Available at: https://doi.org/10.1080/03043797.2018.1441265 (Accessed on 19/11/2024).

RaF Italia (2019) *RaF Italia 2017-2018, Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia.* Rete Rurale Nazionale (RRN 2014-2020); Compagnia delle foreste (AR), ISBN: 978-88-98850-34-1.Available at: https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/8%252F4%252F1%252FD.f8bffe877b6ff2584b21/P/BLOB%3AID%3D19231/E/pdf (Accessed on 31/07/2024).

Robertson, D. (2020, September 24). "'It's like family': the Swedish housing experiment designed to cure loneliness". *The Guardian,* 15 September 2020. Available at: https://www.theguardian.com/world/2020/sep/15/its-like-family-the-swedish-housing-experiment-designed-to-cure-loneliness (Accessed on 02/08/2024).

Schellnhuber, H. et al. (2022), *Horizon Europe and new European Bauhaus NEXUS report.* Available at: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9f9acd60-8aec-11ec-8c40-01aa75ed71a1/language-en (Accessed on 02/08/2024).

STRATEGIA FORESTALE NAZIONALE – Decreto 23 dicembre 2021, Approvazione della strategia forestale nazionale (22A00834) (GU Serie Generale n. 33 del 9 febbraio 2022) Available at: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/02/09/22A00834/SG (Accessed on 26/07/2024).

Wang, D. and MacMillan, T. (2013). "The Benefits of Gardening for Older Adults: A Systematic Review of the Literature". *Activities, Adaptation & Aging*, 37(2), pp.153–181. Available at: https://doi.org/10.1080/01924788.2013.784942 (Accessed on 26/07/2024).

World Health Organization: WHO (2019, May 30). *Social determinants of health.* Available at: https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab_1 (Accessed on 16/08/2024).

Patrimonio Costruito e Ambiente: tecniche di progettazione sostenibile in legno alla Wooler Schoolhouse

Luigi Ferrara[1]
Veronica Madonna[2]
Stefano Sartorio[3], https://orcid.org/0000-0001-5372-1301
[1] Principal, Conifer, Canada
[2] RAIC Centre for Architecture, Athabasca University, Canada
[3] Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

luigibferrara@gmail.com
vmadonna@athabascau.ca
stefano.sartorio@polimi.it

Abstract. Il progetto per la *Wooler Schoolhouse* è un'iniziativa sperimentale volta a rinnovare un luogo storico e creare un approccio sostenibile utilizzando la tecnologia del *mass timber* e materiali della bioedilizia per raggiungere la neutralità climatica. Il progetto è il risultato di una charrette collaborativa che ha riunito la comunità locale, ricercatori accademici, costruttori e studenti di tutto il mondo. Il processo rigenerativo che viene adottato promuove una relazione simbiotica tra esseri umani e natura, valorizzando il capitale sociale e naturale. Il progetto, infatti, mira sia alla creazione di spazi adattabili e resilienti che favoriscano collaborazioni, il benessere e maggiori rapporti sociali tra i residenti, dimostrandosi così un'architettura sostenibile e catalizzando il coinvolgimento della comunità con programmi di educazione ambientale.

Parole chiave: Architettura Sostenibile; Approccio all'Esistente; Costruzione in *Mass Timber*; Riuso Rurale; *Environmental Design*.

Introduzione

Mentre i centri urbani canadesi continuano ad espandersi, le aree rurali devono affrontare sfide rilevanti, a partire dalla pressione sulle infrastrutture, alla carenza di alloggi e l'accrescimento delle disparità economiche. L'urbanizzazione, pur contribuendo alla crescita delle città, sovente comporta a preoccupazioni di tipo ambientale, come lo *sprawl* incontrollato e dell'inquinamento, innesca inoltre scostamenti sociali che creano tensioni nelle comunità minori. La centralizzazione del lavoro inasprisce la carenza di manodopera rurale e riduce le opportunità economiche rurali con l'accelerazione della migrazione verso le città. Dal 2016 al 2021, infatti, l'andamento demografico rurale è stata solo dello 0,4%, riducendosi nel complesso nazionale dal 18,7% al 17,8% (Statistics Canada, 2022). Questa migrazione mina le economie rurali, indebolisce i servizi ed erode il tessuto sociale di queste comunità, contribuendo al loro declino.

In questo contesto, preservare il patrimonio costruito locale funge da potente contrappeso alle conseguenze dell'urbanizzazione. Svolge un ruolo essenziale nel mantenere l'identità culturale, rafforzando i legami interni alla comunità, salvaguardando il passato e le unicità di questi contesti, mentre avvengono i rapidi cambiamenti che coinvolgono il mondo intero. Progettare l'adattamento delle pre-esistenze favorisce quindi il mantenimento del carattere distintivo dei piccoli centri e contribuisce alla crescita economica locale, rafforzandone la resilienza e i caratteri vitali delle comunità in tutto il Canada (Goddard-Bowman, 2014).

Attraverso l'utilizzo del *mass timber* e di materiali bioedili, il progetto per la *Wooler Schoolhouse* rappresenta un approccio lungimirante, trasformando un sito storico in un luogo sostenibile, per una comunità climate neutral in crescente invecchiamento. Situato nelle zone rurali del Canada, il progetto integra tecnologie e soluzioni ecologiche passive che allineano l'habitat umano con quello naturale, focalizzandosi sulla positività climatica e sulla salute della comunità per rivitalizzare le aree rurali.

Questo approccio olistico offre benefici ambientali, sociali, culturali ed economici, enfatizzando la sostenibilità e la resilienza. Il progetto si distingue, inoltre, per l'attuazione di una *Charrette* progettuale, che riunisce in modo collaborativo esperti ac-

Heritage and Habitat: Sustainable timber design techniques at the Wooler Schoolhouse

Abstract. The Wooler Schoolhouse Project is an experimental effort to renovate a heritage site and create a sustainable approach using mass timber and biobased materials to achieve climate neutrality. The project is the result of a collaborative charrette that brought together the local community, academics, builders, and students worldwide. The result adopts regenerative development to promote a symbiotic relationship between humans and nature, enhancing social and natural capital. It focuses on building adaptable, resilient spaces that encourage social connections, collaborations, and well-being while integrating renewable energy, demonstrating sustainable architecture, and boosting community involvement with environmental education programmes.

Keywords: Sustainable Architecture; Approach to Heritage; Mass Timber Construction; Rural Reuse; Environmental Design.

Introduction

As Canada's urban centres expand, rural areas face growing challenges, including infrastructure strain, housing shortages, and economic disparities. Urbanisation fuels city growth but creates issues like sprawl, pollution, and social shifts, straining smaller communities. Job centralisation worsens rural labour shortages and reduces opportunities as migration to cities accelerates. From 2016 to 2021, rural population growth was just 0.4%, cutting their share of the population from 18.7% to 17.8% (Statistics Canada, 2022). This migration undermines rural economies, weakens services, and erodes the social fabric of these communities, contributing to their decline.

In this context, preserving local heritage serves as a crucial counterbalance to the forces of urbanisation. It plays an essential role in maintaining cultural identity, strengthening community bonds, and safeguarding these regions' unique histories and traditions within the rapid changes the world is facing. Adapting previously existing buildings helps retain the distinct character of small towns and contributes to local economic growth, reinforcing the resilience and vibrancy of communities across Canada (Goddard-Bowman, 2014).

The Wooler Schoolhouse Project adopts a regenerative approach, using mass timber and bio-based materials to transform a historic site into a sustainable, climate-neutral community for an ageing population. Situated in rural Canada, it integrates passive ecological solutions and technologies that align human habitation with the natural environment, focusing on climate positivity and community health to revitalise rural areas.

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16584

cademici, professionisti del settore e studenti. Questo processo favorisce l'innovazione, l'istruzione e la formazione, garantendo che il progetto soddisfi le esigenze attuali e funga da modello educativo per futuri sviluppi.

Stato dell'arte

Le regioni del Canada rurale sono elementi fondamentali per l'identità culturale e l'economia della nazione: sostenendo l'agricoltura, la silvicoltura e l'estrazione mineraria. Nonostante la loro importanza, queste aree scarsamente popolate devono affrontare sfide come l'invecchiamento della popolazione, la carenza di investimenti e l'accesso limitato ai servizi. La loro rilevanza culturale ed economica li rende fondamentali per la conservazione del patrimonio e la promozione dello sviluppo sostenibile. La sezione esplora quindi il declino del rurale, per le pressioni demografiche ed economiche, e le opportunità di resilienza attraverso strategie innovative, attingendo da prospettive globali per evidenziare una potenziale rivitalizzazione sostenibile.

La condizione delle regioni del Canada rurale

La sconfinata estensione geografica del Canada genera una delle unicità di questa Nazione, in cui vaste regioni si mantengono remote. Il contesto rurale canadese si distingue per le sue peculiari caratteristiche geografiche, culturali ed economiche, che le distinguono dai centri urbani e le distinguono sulla scena globale. In queste aree sono presenti piccole città, villaggi, borghi e infinite distese di campagna che si estendono in vasti e diversificati paesaggi, tra cui le foreste, le praterie, le aree montane, le regioni costiere fino alla tundra artica. Queste dimensioni del Canada fanno sì che le comunità che vi abitano siano tendenzialmente isolate, separate dai centri principali da lunghe distanze, con alcune regioni particolarmente remote (Fig. 1).

I trend del Canada rurale

Wooler, un villaggio nell'Ontario orientale, esemplifica le sfide dei piccoli insediamenti del Canada: servizi locali limitati, dipendenza lavorativa dai vicini centri urbani e combatte per mantenere il suo carattere rurale nel suo sviluppo. Pur offrendo uno stile di vita pacifico e forti legami comunitari, le aree rurali fanno i conti con insufficienti investimenti nei servizi essenziali come l'assistenza sanitaria, l'istruzione e i centri comunitari, nonostante il loro ruolo chiave nel sostenere le economie urbane e il patrimonio paesaggistico rurale.

L'invecchiamento della popolazione è il cambiamento demografico principale che il Canada rurale deve affrontare; Circa 1,5 milioni di canadesi hanno più di 65 anni, con la fascia demografica 85+ in rapida crescita (Ismail-Tega *et al*., 2020; Governo del Canada, 2024). Ciò aumenta la domanda di alloggi e servizi adeguati a questa fascia d'età, ma le istituzioni spesso arrivano in ritardo in questo contesto rurale. Seppur il numero di chi è proprietario di una casa è elevato, il 78% (la media nazionale è del 68%), il 24% dei canadesi rurali fatica a trovare un alloggio di qualità e a prezzi accessibili, il doppio del tasso nazionale (Governo del Canada, 2024), in particolare chi vive in affitto.

Le aree rurali, inoltre, contribuiscono a quasi il 30% del PIL canadese con le produzioni agricole, l'estrazione mineraria e la silvicoltura, ma devono fare i conti con un sistema infrastrutturale obsolescente, redditi inferiori e maggiore disoccupazione rispetto a chi vive in città. Il rafforzamento delle infrastrutture rurali è quindi essenziale per una economia sostenibile e per at-

This holistic approach delivers environmental, social, cultural, and economic benefits, emphasising sustainability and resilience. A collaborative Design Charrette involving academics, industry professionals, and students fostered innovation, education, and training, ensuring the project addresses current needs while serving as a model for future development.

Literature review

Rural and regional Canada is central to the nation's cultural identity and economy, supporting agriculture, forestry, and mining. Despite their importance, these sparsely populated areas face challenges like ageing populations, underinvestment, and limited access to services. Their cultural and ecological significance makes them crucial for preserving heritage and promoting sustainable development. This review explores rural decline, demographic and economic pressures, and resilience opportunities through innovative strategies, drawing on global perspectives to highlight sustainable revitalisation potential.

Current state of rural and regional Canada

Canada's immense geographical expanse, one of the largest in the world, gives rise to a unique national character where vast regions remain remote. Rural regions of Canada are distinguished by their unique geographical, cultural, and economic characteristics, setting them apart from national urban centres and making them distinct on the global stage. These areas encompass small towns, villages, hamlets and expansive countryside that stretch across Canada's vast and diverse landscapes, including forests, prairies, mountains, coastal regions, and the Arctic tundra. The sheer size of Canada means that these communities are often isolated and separated by great distances from urban centres, with some regions being extremely remote (Fig. 1).

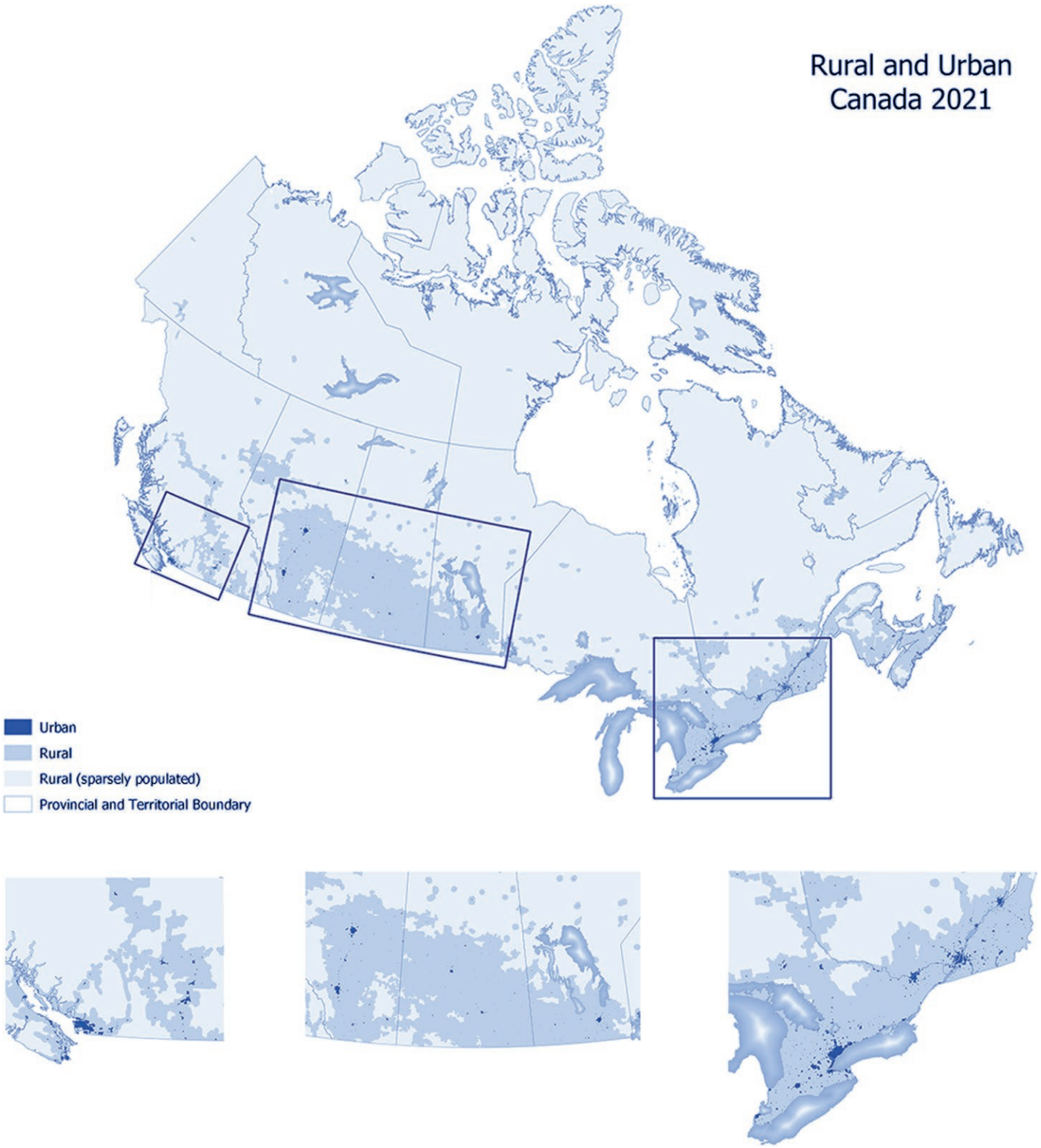
Trends of rural Canada

Wooler, a hamlet in eastern Ontario, reflects the challenges of small rural settlements in Canada, namely limited local services, reliance on nearby urban centres for jobs, and pressure to maintain rural character amid development. While offering a peaceful lifestyle and strong community ties, rural areas face underinvestment in essential services like healthcare, education, and community centres, despite their vital role in supporting urban economies and preserving cultural and agricultural heritage.

Rural Canada faces significant demographic shifts, particularly its ageing population. Around 1.5 million rural Canadians are 65 or older, with the 85+ demographic growing rapidly (Ismail-Tega *et al*., 2020; Government of Canada, 2024). This drives demand for age-appropriate housing and services, but rural infrastructure often lags. While rural home ownership is high at 78% compared to the national average of 68%, 24% of rural Canadians, two-fold the national rate, especially renters, struggle to find affordable, quality housing (Government of Canada, 2024).

Rural areas also contribute to nearly 30% of Canada's GDP through agriculture, mining, and forestry but face ageing infrastructure, lower incomes, and higher unemployment rates. Strengthening rural infrastructure is essential for sustainable growth and attracting

01 | Rural and Urban Canada 2021. Immagine modificata dagli autori, basandosi su Statistic Canada (2022) *"Population growth in Canada's rural areas, 2016 to 2021"*
Rural and Urban Canada 2021. Image edited by the authors based on Statistic Canada (2022) "Population growth in Canada's rural areas, 2016 to 2021"



tirare nuovi residenti. In tal senso l'aumento degli investimenti nei biomateriali di origine forestale può dare impulso alla bioeconomia, garantendo che questi luoghi si mantengano attivi all'interno del quadro economico canadese.
Sfide simili si riscontrano anche in Italia, dove le aree rurali devono affrontare maggiormente il problema dell'invecchiamento della popolazione, la carenza di alloggi e dei rischi climatici, allineandosi con il concetto di "Periferie Interne" per la disconnessione sociale ed economica. I parallelismi tra Canada e Italia sottolineano la necessità di strategie di sviluppo sostenibile e sottolineano il valore della collaborazione globale per formare comunità rurali resilienti.

Inner Peripheries: una prospettiva internazionale su Patrimonio Costruito e Ambiente
Il fenomeno delle "periferie interne"[1], diffuse nei paesi di tutto il mondo, è stato oggetto di numerosi studi europei. A prima vista, la giustapposizione di "interno" e "periferia" può sembrare una contraddizione, ma tale binomio descrive adeguatamente quelle regioni rurali, tipicamente dell'entroterra, che presentano i caratteri tipici delle periferie urbane. Il carattere distintivo delle Periferie Interne è la loro distanza geografica dai centri urbani e il loro grado di "disconnessione" dai territori e dalle reti circostanti. A differenza delle periferie puramente geografiche, definite dalla loro lontananza dalla popolazione e dai centri di attività economica, le periferie interne sperimentano processi sociali ed economici che le isolano dalle regioni limitrofe. Di conseguenza, la qualità della vita e le prestazioni complessive in queste aree tendono ad essere relativamente inferiori rispetto ai territori adiacenti (ESPON, 2017).

Prospettive internazionali, Patrimonio costruito e Ambiente
Da un punto di vista internazionale, le sfide poste da una popolazione che invecchia velocemente negli ambienti rurali sono state molto studiate, rivelando che questo è un problema globale richiede soluzioni locali su misura. L'Italia si presenta come un caso di studio interessante per la sua "SNAI – Strategia Nazionale Aree Interne", un'iniziativa di politica pubblica che affronta lo spopolamento rurale. Con il secondo più alto invecchiamento della popolazione al mondo, le aree rurali italiane sono state significativamente influenzate dalle migrazioni dei più giovani verso le città, per questioni di maggiori opportunità educative e lavorative, lasciando in tali luoghi prevalentemente i residenti più anziani.
Per contrastare questa tendenza, la politica SNAI ha mappato le aree più colpite dallo spopolamento, scoprendo che queste regioni erano in genere lontane da servizi essenziali come scuole, trasporti pubblici e ospedali, fattori chiave che influenzano direttamente la vivibilità delle comunità rurali. Istituita nel 2013, la SNAI ha da allora raccolto un'attenzione significativa, in particolare all'interno delle discipline della progettazione. I suoi risultati sono stati raccontati anche durante la Biennale di Architettura di Venezia del 2018, quando il Padiglione Italia, intitolato "Arcipelago Italia", ha presentato diversi interventi architettonici in aree rurali remote volti a contrastare tale fenomeno. Questi progetti hanno dimostrato come la progettazione architettonica sostenibile, in particolare attraverso il riutilizzo adattivo del patrimonio esistente, possa essere cruciale nel rivitalizzare li contesti rurali in difficoltà (Cucinella, 2018).
In Europa, numerosi esempi dimostrano come i processi architettonici abbiano svolto un ruolo chiave nell'affrontare lo spo-

new residents. Increased investment in forest-based biomaterials can boost the bioeconomy, ensuring rural areas remain vital within Canada's economic framework.
Similar challenges are seen in Italy, where rural areas face ageing populations, housing shortages, and climate risks, aligning with the "Inner Peripheries" concept of social and economic disconnection. The parallels between Canada and Italy emphasise the need for sustainable development strategies and highlight the value of global collaboration to build resilient rural communities.

Inner Peripheries: International Perspective on Heritage and Habitat
The phenomenon of "Inner Peripheries", prevalent in countries worldwide, has been the subject of numerous European studies. At first glance, the juxtaposition of 'inner' and 'Periphery' may seem contradictory, but this combination suitably describes rural regions, typically inland, that present similar characteristics to urban peripheries. The defining feature of Inner Peripheries is their geographical distance from urban centres and their degree of 'disconnection' from surrounding territories and networks. Unlike purely geographic peripheries, defined by their remoteness from population and economic activity centres, Inner Peripheries experience social and economic processes that isolate them from neighbouring regions. As a result, the quality of life and overall performance in these areas tend to be relatively lower compared to adjacent territories (ESPON, 2017).
The challenges posed by ageing populations in rural environments have been extensively studied, revealing that this global issue demands tailored local solutions. Italy presents a compelling case study through its "SNAI – Strategia Nazionale Aree Interne" (National Strategy for Inner Areas), a public policy initiative addressing rural depopulation. With the second highest ageing population in the world, Italy's rural areas have been significantly impacted by younger generations migrating to cities for education and employment opportunities, leaving predominantly older residents behind.
To combat this trend, the SNAI policy began by mapping areas most affected by depopulation, uncovering that these regions were typically far from essential services such as schools, public transportation, and hospitals – key factors that directly influence the liveability of rural communities. Established in 2013, the SNAI has since garnered significant attention, particularly within architectural circles. Its efforts were highlighted during the 2018 Venice Architecture Biennale, where the Italian Pavilion, titled "Italy Archipelago," showcased architectural interventions in remote rural areas to fight this phenomenon. These projects demonstrated how sustainable architectural design, especially through the adaptive reuse of heritage structures, could be crucial in revitalising struggling regions (Cucinella, 2018).
In Europe, numerous examples demonstrate how architectural processes have played a key role in addressing rural depopulation. A best practice can be found in the village of Ostana, on the Italian Alps, where the strong collaboration between the community and academics from Politecnico di Torino led to interesting results in counteracting its depopulation thanks to new design approaches to its heritage (Tab. 1).

Tab. 01 | Selezione comparativa di Casi studio: l'obiettivo è quello di evidenziare i benefici apportati da alcuni progetti selezionati dalla *case study research*, inclusa nel *Wooler Schoolhouse Project*, mostrandone l'impatto di iniziative simili

Proposed Comparative Case Studies: The goal is to highlight the advantages achieved through some selected projects from the case study research, included in the Wooler Schoolhouse Project, by showcasing the impacts of similar initiatives

| Tab. 01

Architect (Place, Year) *Project*	**Heritage Relation**	**Materials & Technology**	**Community Benefits and Counteracting Rural Depopulation**
Behark (Larrabetzu, 2021) *The last chance for a slow dance*	juxtaposition of a new covered space to the stone building. The addition reinterprets the surrounding verticality of the wooden volumes.	Concrete base, Mass Timber frame elevation for the new covered space.	The community of Larrabetzu (Spain) had no covered outdoor spaces but a rainy weather. The introduction of this addition in front of the main plaza, therefore, brings together many social and recreational activities for citizens that can now substitute the absence of main services thanks to a simple, yet most used, public place. Reference for heritage addition and technology used during the charrette as the main case study.
Captcha Architecture (Orbetello, 2022) *Anonima Agricola*	The mimic of the shape within the addition is broken by the bold use of new sustainable materials for bioclimatic principles and energy reductions.	The design integrates passive systems such as natural ventilation and solar harvesting through optimized building orientation.	The project proposes a new idea of countryside other than the Tuscan picturesque. It embraces a techno-pastoral language while introducing a focus on sustainable rural habitability: nature and humans co-live in a space working at once as summer guesthouse (four bedrooms) and as art residency in winter. The tension provided by the project addition is similar to the final output of the project.
D. Castellino, V. Cottino, G. Barberis, D. Regis (Rittana, 2014) *Borgata Paraloup*	The application of infill strategies, in which new functions are literally inserted in former ruins, has brought structural benefits to the heritage.	Balloon frame and wood reuse from the surrounding forest, modelled by local carpenters.	After a long period of abandonment, in 2006, the Nuto Revelli Foundation decided to recover the heritage site and make it available to the community. It now can host new inhabitants and tourists; moreover, with the insertion of a museum, the architecture itself serves as a testament to how to rise again after a severe rural depopulation. The village was rebuilt harmoniously into the landscape and according to the criteria of the International Charter of Restoration and with local raw materials.

polamento rurale. Una best practice si può trovare nel villaggio di Ostana, sulle Alpi Occitane, dove la forte collaborazione tra la comunità e gli accademici del Politecnico di Torino ha portato a risultati interessanti nel contrastare lo spopolamento grazie a nuovi approcci progettuali al suo patrimonio. (Tab. 1)

L'approccio alla rigenerazione

Le comunità rurali di tutto il mondo devono affrontare cambiamenti demografici, instabilità economica e degrado ambientale. Affrontare tali sfide, come delineato in precedenza, richiede di sorpassare i metodi tradizionali e adottare pratiche che ripristinino sia il benessere umano che gli ecosistemi naturali. La ricerca dei casi di studio, evidenziata con alcuni esempi nella tabella 1, costituisce una base per un'approccio teorico che offra strategie sostenibili di conservazione del patrimonio architettonico di Wooler.

La progettazione e lo sviluppo rigenerativo si concentrano sulla promozione di una relazione co-evolutiva tra gli esseri umani e il mondo naturale (Cole, 2012), andando oltre l'approccio a impatto minimo, a favore di uno che rivitalizzi attivamente il capitale sociale e naturale (Bioneers, 2022). Non si tratta di un mero sostegno ambientale, questo approccio cerca di integrare sistemi che prosperino e si evolvano, a beneficio sia delle comunità umane che di altri ecosistemi. In ciò, l'innovazione del progetto sta nel considerare anche il coinvolgimento della comunità e della ricerca accademica;

The regenerative framework

Rural communities globally face demographic shifts, economic instability, and environmental degradation. Addressing these challenges, as outlined earlier, requires moving beyond traditional methods to adopt practices that restore both human well-being and natural ecosystems. The case study research, highlighted in a few examples in table 1, builds on this theoretical foundation, offering sustainable strategies for preserving Wooler's architectural heritage.

Regenerative design and development focus on fostering a co-evolutionary relationship between humans and the natural world (Cole, 2012), moving beyond a minimal-impact approach to one that actively enhances and revitalises social and natural capital (Bioneers, 2022). Rather than merely sustaining the environment, this approach seeks to create systems that thrive and evolve, benefitting human communities and their ecosystems. This approach must consider a project innovation through community engagement and academic research, a concept experimented with in the collaborative charrette (Paragraph 3.3).

A regenerative design approach deeply integrates a specific place's unique characteristics and potential. This method, known as "designing for place," requires a profound understanding of the environment's ecological, cultural, and historical context (Mang and Reed, n.d.). It enables designers to create systems that not only sustain but also actively enhance the health and vitality of both human and natural communities. This approach stands in contrast to conventional design, which often applies generic solutions that may overlook or even harm the intrinsic value of a place.

Regeneration is a dynamic, ongoing process that shifts focus from sustaining current conditions to enhancing ecosystems' and communities' capacity to adapt and thrive. By engaging with a place's unique characteristics and natural cycles, regenerative design fosters resilience and long-term vitality for human and natural environments (Mang and Reed, n.d.). Unlike conventional sustainability, it promotes continuous renewal and growth, benefitting broader ecological and social contexts.

Integrating regenerative design principles into heritage and ecological preservation can create a powerful synergy that enhances a place's long-term resilience and vitality. In this combined approach, heritage sites are not just preserved as static relics of the past but are actively regenerated to contribute to the ecological and cultural sustainability of the community.

Methodology

The Wooler Schoolhouse project follows a mixed method case study approach, rooted in a collaborative charrette. By combining qualitative and quantitative data from community members, developers, and academics, it ensures alignment with heritage preservation, sustainability, and community-driven design. Proposed interventions are evaluated through a framework assessing historical preservation, environmental performance, and economic feasibility, bridging empirical findings with contextual insights.

Background: Wooler Schoolhouse project

The Wooler Schoolhouse in Quinte West, Ontario, served as a community hub for decades. When the National Scout organisation considered selling it, resident Dan Nelson enlisted archi-

questo concetto è stato poi sperimentato nella charrette collaborativa (Paragrafo 3.3).
Un approccio di progettazione rigenerativa integra profondamente le caratteristiche e le potenzialità uniche di un luogo specifico. Questo metodo, noto come "progettare per il luogo", richiede una profonda comprensione del contesto ecologico, culturale e storico dell'ambiente (Mang and Reed, n.d.). Consente ai progettisti di creare sistemi che non solo sostengono, ma migliorano anche pro-attivamente la salute e la vitalità delle comunità umane e naturali, ponendosi in contrasto con il design convenzionale, che sovente applica generiche soluzioni che possono trascurare o addirittura danneggiare il valore intrinseco di un luogo.
La rigenerazione è un processo dinamico e continuo che sposta l'attenzione dal mantenimento delle condizioni attuali al miglioramento della capacità degli ecosistemi e delle comunità di adattarsi e prosperare. Attraverso il coinvolgimento dei caratteri del luogo e dei cicli della natura, il design rigenerativo promuove così la resilienza e la vitalità a lungo termine per gli ambienti umani e naturali (Mang and Reed, n.d.). A differenza della sostenibilità ambientale convenzionale, promuove il rinnovamento e la crescita continui, a beneficio di contesti ecologici e sociali più ampi.
L'integrazione dei principi del design rigenerativo nel patrimonio costruito e nella conservazione ecologica può creare una potente sinergia a miglioramento della resilienza e vitalità a lungo termine. In questo approccio combinato, i luoghi del patrimonio storico di un luogo non vengono solo conservati come statiche reliquie del passato, ma attivamente coinvolti per contribuire alla sostenibilità ecologica e culturale della loro comunità.

Metodologia

Il progetto per la *Wooler Schoolhouse* segue un approccio metodologico misto, di casi studio reali e di applicazione di una charrette collaborativa. Combinando dati qualitativi e quantitativi provenienti da membri della comunità, dagli sviluppatori e dai ricercatori accademici, si garantisce un allineamento dei punti di vista tra la conservazione del patrimonio e l'innovazione sostenibile, guidati dalla comunità. Le proposte di intervento, infatti, sono valutate e confrontate da quadri di riferimento per la conservazione storica, ma anche per le prestazioni ambientali e la fattibilità economica, facendo da ponte tra i risultati empirici e le volontà contestuali di ciascuno.

Il contesto storico: il progetto della Wooler Schoolhouse
La *Wooler Schoolhouse* in Quinte West, Ontario, per decenni è stata un centro comunitario. Quando l'organizzazione nazionale degli Scout prese in considerazione di venderlo, l'architetto Luigi Ferrara fu contattato da un residente, Dan Nelson, per redigere stime valutative del patrimonio. Ferrara notò forti influenze architettoniche della *Prairie School,* potenzialmente legate a Francis Conroy Sullivan, un collaboratore di Frank Lloyd Wright. Galvanizzata da ciò, la comunità di Wooler fu ispirata a preservare l'edificio e i suoi tratti distintivi, come le finestre a lucernario e gli interni in rovere, enfatizzandone l'importanza. La *Wooler Area Community Organization* ha quindi commissionato uno studio sull'edificio, che ne conferma il valore architettonico.
Dopo la messa in vendita da parte degli Scout, la proprietà fu acquisita da un imprenditore privato, ma i suoi sforzi di riqualificazione si sono dovuti bloccare a causa di problemi strutturali.

tect Luigi Ferrara to assess its heritage value. Ferrara noted strong Prairie school architectural influences, potentially linked to Francis Conroy Sullivan, a collaborator of Frank Lloyd Wright. Key design elements, such as clerestory windows and oak interiors, emphasised its significance, inspiring community efforts to preserve the building. The Wooler Area Community Organisation commissioned a heritage study confirming the building's architectural value.
After the Scouts sold the property, a private developer acquired it, but redevelopment efforts stalled due to structural issues. The community and architects Luigi Ferrara and Monica Contreras proposed stabilisation and a holistic development plan, including a public-private partnership to fund restoration and integrate affordable housing. The Brookfield Sustainability Institute (BSI) partnered to host design charrettes, bringing together students, academics, and the community to explore sustainable solutions (Fig. 2).
BSI proposed a climate-positive, mixed-use development featuring housing, community spaces, and natural areas. Collaborative efforts led to a Memorandum of Understanding (MOU) outlining plans for residential units and a wetland park. The schoolhouse's feasibility studies supported grant applications, establishing the project as a model for revitalising rural communities by addressing housing, heritage preservation, and sustainability.

Scope of work
The Wooler Schoolhouse project was proposed to restore and adapt the 6,000-square-foot 1915 building, preserving its historical features while upgrading it to meet modern energy efficiency and accessibility standards. The space was transformed into a community hub after multiple community and academic meetings to provide a venue for events and local services. It was designed considering sustainable materials and construction methods, minimising environmental impact by preserving the building's embodied carbon, avoiding emissions from new construction, and reducing the carbon footprint.
The Schoolhouse renovation ensures financial viability by incorporating senior residences built with bio-based materials like mass timber, wood cladding, and wood-fibre insulation, aligning with sustainability goals. Prefabricated mass timber reduces construction time, costs, and embodied carbon by over 70% compared to concrete and steel (Butler *et al*., 2021). Designed through an inclusive charrette with community, builders, and researchers, the residences integrate with the community hub, offering recreational activities and services, while preserving heritage and showcasing rural innovation.
Wetlands on-site, once seen as a challenge, were reimagined during the charrette as assets, providing outdoor amenities linking the housing, Schoolhouse, and programmes. A proposed 'discovery walk' above the wetlands will create therapeutic outdoor space, promoting well-being. This holistic approach aligns with regenerative design principles, fostering harmony between built and natural environments. By engaging stakeholders and demonstrating sustainable construction techniques, the project establishes Wooler as a rural innovation leader, delivering

02 | Foto d'epoca della Wooler Schoolhouse
Period photo picture of the Wooler Schoolhouse

Per questo, la comunità e gli architetti Luigi Ferrara e Monica Contreras hanno proposto un piano di sviluppo olistico, e di attivare un partenariato pubblico-privato, finanziando il restauro e tramite l'integrazione di alloggi a prezzi accessibili. Il *Brookfield Sustainability Institute* (BSI) ha, infine, collaborato per ospitare la charrette progettuale, riunendo studenti, accademici e la comunità per esplorare soluzioni sostenibili (Fig. 2).
Il BSI ha proposto un processo indirizzato al climate-positive al mix-use con abitazioni, spazi comunitari e aree naturali. Gli sforzi collaborativi hanno portato a un *Memorandum of Understanding* (MOU) che delinea i piani per le unità residenziali, un parco nella zona umida adiacente e gli studi di fattibilità sulla scuola a supporto della richiesta dei finanziamenti necessari. Il progetto si costituisce come esperienza modello per rivitalizzare le comunità rurali affrontando temi quali l'edilizia abitativa, la conservazione del patrimonio storico e la sostenibilità.

L'ambito di lavoro
Il progetto alla *Wooler Schoolhouse* è stato proposto per mantenere e adattare l'edificio del 1915 di 55.742 metri quadrati, preservandone i caratteri tipici pur aggiornandolo per soddisfare i moderni standard di efficienza energetica e accessibilità. A seguito di molteplici incontri tra abitanti e ricercatori accademici, si è deciso che il luogo verrebbe trasformato in un hub comunitario, costituendosi da nuova sede per eventi e servizi locali. In aggiunta a ciò, si considerano materiali e metodi di costruzione sostenibili, per ridurre al minimo l'impatto ambientale e per contenere il carbonio incorporato dell'edificio esistente, così da evitare le emissioni derivanti dalle nuove costruzioni.
Il processo progettuale per la scuola ha previsto anche una sostenibilità finanziaria incorporando residenze per anziani, costruite con materiali bioedili come il *mass timber*, rivestimenti in legno e isolamento in fibra di legno, in linea con gli obiettivi di sostenibilità. Il sistema in *mass timber* prefabbricato, infatti, riduce i tempi di costruzione, i costi e il carbonio incorporato di oltre il 70% rispetto al calcestruzzo o l'acciaio (Butler *et al.*, 2021). Progettate attraverso una charrette inclusiva con la comunità, i costruttori e i ricercatori, le residenze si integrano con l'hub comunitario, offrendo attività e servizi ricreativi preservando il patrimonio e mettendo in mostra l'innovazione rurale. La zona umida nel sito, inizialmente intesa come una problematicità, è stata riconsiderata come risorsa grazie alla charrette, si è previsto che potesse inglobare attività all'aperto che connettono le residenze per anziani e la *Schoolhouse*. Si propone quindi di inserire un "percorso di scoperta" sulle zone umide promuovendo il benessere attività all'aperto e passeggiate terapeutiche. Tale approccio olistico si alinea con i principi della progettazione rigenerativa, facilitando un'armonica co-esistenza tra ambienti costruiti e quelli naturali. Attraverso il coinvolgimento dei portatori di interesse, e mostrando tecniche di costruzione sosteni-

lasting economic and community benefits.
The project outcomes were designed to achieve measurable impacts across several domains:
1. Heritage Preservation: The renovation of the schoolhouse will retain over 80% of the original interiors, assessed through documentation and preservation plans.
2. Sustainability Metrics: Using mass timber and wood-fibre insulation is expected to reduce the carbon footprint of the new senior housing units by over 70% compared to concrete-based construction, as modelled in LCA software (Butler *et al.*, 2021).
3. Community Integration: Surveys conducted post-charrette will track the community's perception of the project's impact on their quality of life.

The Design Charrette: Community-Led and Integrated Design Process
The Design Charrette was key to bridging academia and industry in the Wooler Schoolhouse project. It united researchers, professionals, and students, fostering collaboration and practical innovation. This approach combined academic insights with real world expertise, accelerating problem-solving and delivering efficient, innovative solutions, while providing hands-on experience and knowledge exchange.
The Wooler Schoolhouse project benefitted from two international charrettes led by the BSI. These multi-day events welcomed industry leaders, professors, and students from around the globe to address the sustainability and design challenges of the project collaboratively. The BSI Design Charrette Process is known for its interdisciplinary and hands-on approach, bringing architects, engineers, planners, researchers, and community members together to co-create solutions. Through a structured brainstorming, design, and refinement process, participants developed practical, sustainable outcomes that aligned with the project's goals. This method fostered creativity and collaboration, ensuring that the solutions were actionable and geared toward long-term success.
The Charrette acted as a brainstorming session, which later allowed industry professionals to develop a comprehensive project solution to be presented to the municipality for approval and to seek funding (Figs. 3, 4, 5).
The charrette process was structured as a session with a metrics-driven methodology to evaluate solutions. Key outcomes included:
1. Community Engagement Metrics: Over 30 participants contributed across two charrettes, including residents, international students, and industry professionals, measured through attendance logs and feedback forms.
2. Feasibility Analysis: Concepts generated during the charrette were subjected to cost-benefit analysis, assessing their viability against project budgets and funding opportunities.
3. Design Proposals: Solutions were tested against the regenerative framework outlined in Section 2.5, ensuring alignment with ecological and social sustainability goals.

Results
The Wooler Schoolhouse Project is guided by regenerative principles prioritising sustainability, community engagement, and environmental stew-

bili, il progetto di Wooler si attesta come prototipo rurale, producendo ricadute positive sull'economia e la comunità locale.
I risultati del progetto sono stati pensati per ottenere impatti misurabili in diversi settori:

1. Nella conservazione del patrimonio: la ristrutturazione della scuola manterrà oltre l'80% degli interni originali, valutati attraverso la documentazione e i piani di conservazione.
2. Nella misurazione della sostenibilità: si prevede che l'utilizzo di isolamento in legno massiccio e fibra di legno ridurrà l'impronta di carbonio delle nuove unità abitative per anziani di oltre il 70% rispetto alla costruzione in calcestruzzo, come modellato nel software LCA (Butler *et al*., 2021).
3. Nell'Integrazione della comunità: i sondaggi condotti dopo la charrette monitoreranno la percezione della comunità dell'impatto del progetto sulla loro qualità di vita.

La Charrette Progettuale: un processo integrato e guidato dalla comunità

La *Charrette* è stata uno strumento fondamentale per mettere in connessione l'industria e il mondo accademico, alimentando soluzioni innovative nello sviluppo del progetto per la *Wooler Schoolhouse*. Riunendo ricercatori accademici e professionisti del settore, la *Charrette* ha favorito un fertile scambio di idee, colmando il divario tra le conoscenze teoriche e le applicazioni pratiche.
Questo approccio ha combinato intuizioni accademiche con competenze del mondo reale, catalizzando la risoluzione dei problemi e fornendo efficienti soluzioni innovative, fornendo al contempo esperienza pratica e scambio di conoscenze.

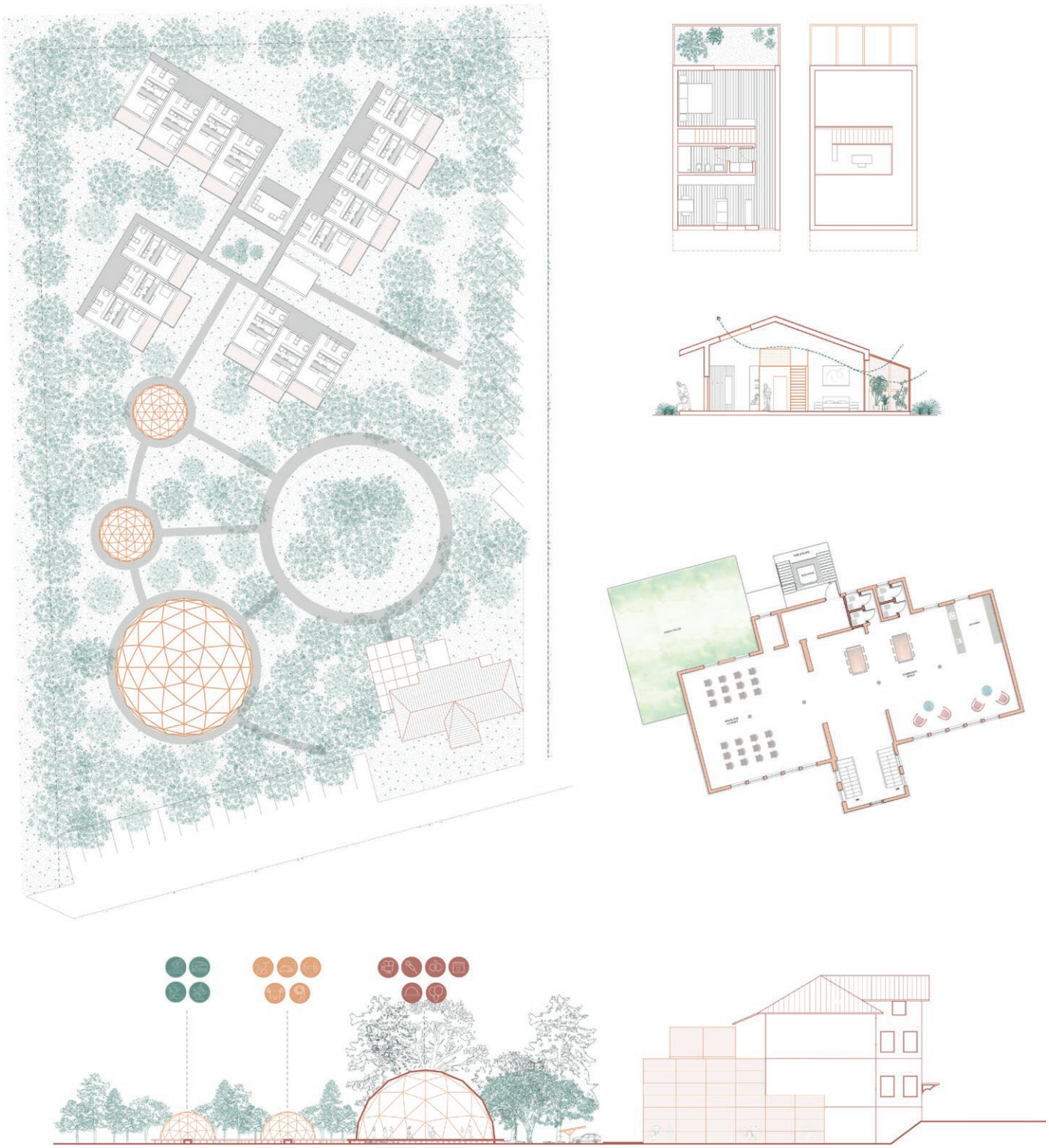
Il progetto *Wooler Schoolhouse* ha beneficiato di due *Charrette* internazionali, sotto la guida del BSI. Si tratta di eventi di più giornate, che hanno accolto leader del settore, professori e studenti di tutto il mondo per affrontare in modo collaborativo le sfide di sostenibilità del progetto. Il processo della *Charrette* al BSI è noto per il suo approccio interdisciplinare e pratico, che coinvolgendo le figure di architetti, ingegneri, pianificatori, ricercatori e membri della comunità per co-creare soluzioni ad un problema condiviso. Il processo è strutturato attraverso una fase di brainstorming, una di progettazione e di perfezionamento, in cui i partecipanti propongono risultati pratici in linea con gli obiettivi di sostenibilità del progetto. Il metodo non solo ha favorito la creatività e la collaborazione, ma ha anche garantito che le soluzioni fossero attuabili in un'ottica di successo a lungo termine.
La *Charrette* è stata una sessione di brainstorming, che in seguito ha permesso ai professionisti del settore di sviluppare una soluzione progettuale completa da presentare al comune per l'approvazione e la ricerca di finanziamenti (Figg. 3, 4, 5).
Il processo della charrette è stato strutturato con una metodologia basata su metriche per valutare le soluzioni dei partecipanti. I principali risultati includono:

1. Misurazioni di *community engagement:* oltre 30 partecipanti hanno contribuito attraverso due *charrette*, tra cui residenti, studenti internazionali e professionisti del settore, misurati attraverso registri delle presenze e moduli di feedback delle attività.
2. Analisi di fattibilità: i concetti generati durante la charrette sono stati sottoposti ad analisi costi-benefici, valutando la loro fattibilità rispetto ai budget del progetto e alle opportunità di finanziamento.

ardship. These principles ensure that the project not only preserves the site's heritage but also enhances the overall well-being of its residents, community and the local ecosystem. The following key elements highlight the project's commitment to creating a resilient and thriving rural community:
Mass Timber and Bioeconomy Connection:
– Mass timber and advanced engineering products modernise the structure while reconnecting the community to the bioeconomy.
– Stimulates regional economic growth through job creation and cultural revitalisation.
– Mass timber prefabrication demonstrates its suitability for rural development and offers a model for sustainable construction practices.
Energy and social sustainability:
– Integrating an energy-efficient senior residence supports regenerative design principles by fostering social cohesion and connecting residents to community amenities.
– The residence showcases the successful application of modern, sustainable construction techniques in rural settings.
Holistic Site Development:
– The design integrates passive systems such as natural ventilation using wind patterns and solar harvesting through optimised building orientation.
– Commitment to whole systems thinking, ensuring energy efficiency and a reduced carbon footprint.
Biophilic Design for Health and Wellness:
– Prioritises user well-being by integrating natural views, daylight, and materials that promote a connection to nature.
– Focus on ecological restoration, including wetland integration that enhances biodiversity.
– Biophilic design elements aim to reduce stress, enhance creativity, and improve health outcomes for users.
Circular Economy with Sustainable Materials:
– Utilises mass timber and other renewable, low-carbon materials to reduce environmental impact while ensuring structural flexibility.
– Mass timber's ductility allows it to work harmoniously with the existing building, seamlessly combining old and new construction techniques.
– Embodies circular economy principles by minimising the need for new materials and maximising the reuse of existing structures.
The Wooler Schoolhouse Project will be a model for integrating regenerative development with heritage preservation and community well-being. The insights and best practices gained will be compiled into a comprehensive case study for regenerative rural and regional development, offering valuable guidance for future projects in Canada and beyond. This will equip developers, municipalities, and community organisations to embrace regenerative design principles, ensuring that rural and regional communities are sustainably preserved and thrive (Figs. 6, 7, 8).

Conclusion

It is clear that many heritage structures sitting on land that have outlived their original use across Canada and around the world are in desperate need of being saved and revitalised. Each small community may have a collection of churches, legion halls,



03 | Sintesi dei risultati della BSI International Students' Charrette 2023. Elaborazione grafica degli autori
Synthesis results of the BSI International Students' Charrette 2023

04 | Sintesi dei risultati della BSI International Students' Charrette 2024. Elaborazione grafica degli autori
Synthesis results of the BSI International Students' Charrette 2024

3. Proposte di progettazione: le soluzioni sono state testate rispetto al quadro rigenerativo delineato nella Sezione 2.5, garantendo l'allineamento agli obiettivi di sostenibilità ecologica e sociale prefissati.

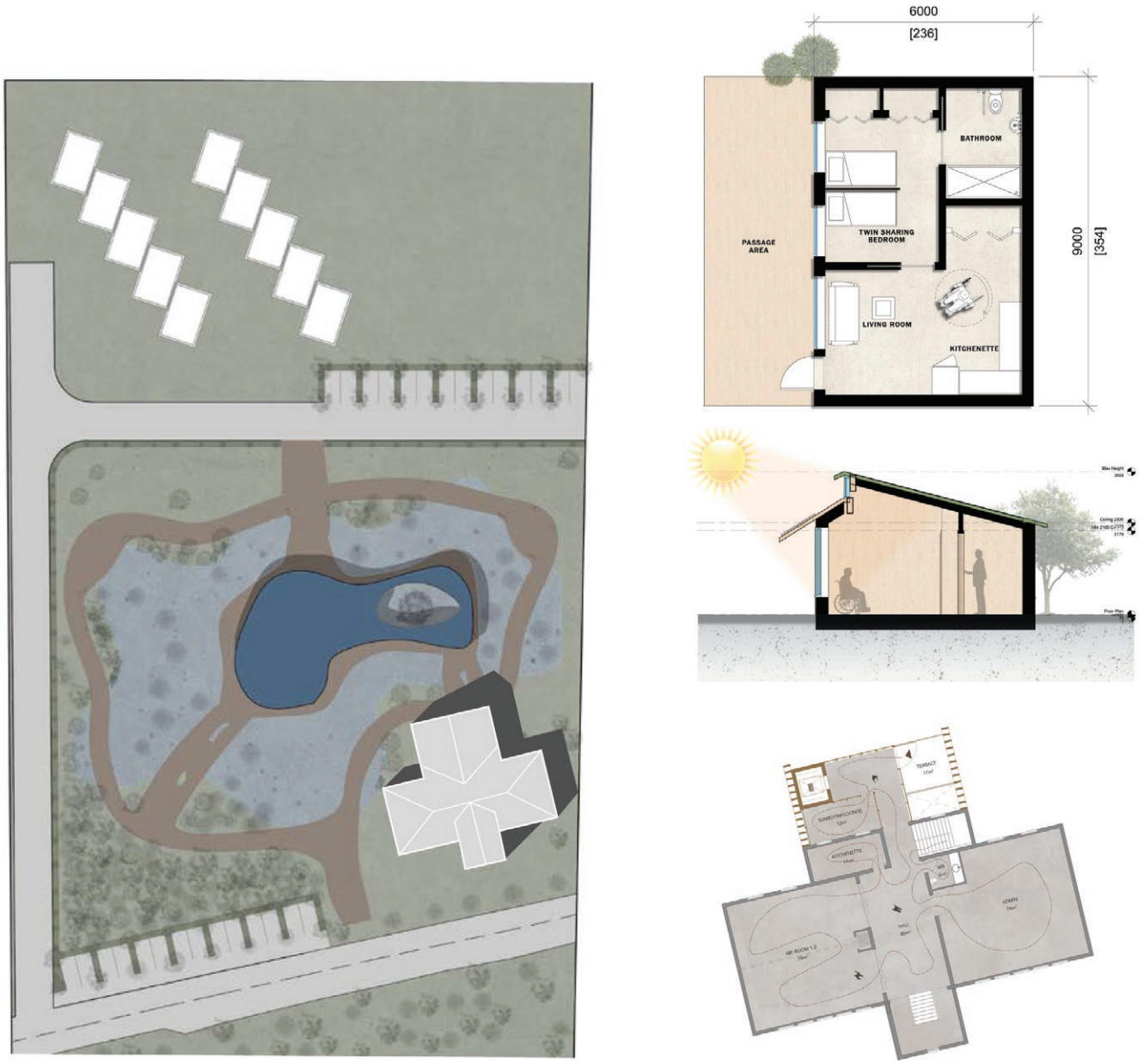
I Risultati

Il progetto della *Wooler Schoolhouse* è quindi guidato da principi rigenerativi che danno priorità alla sostenibilità, al coinvolgimento della comunità e alla gestione ambientale. Questi principi garantiscono che il progetto non solo preservi il patrimonio locale, ma migliori anche il benessere generale dei suoi residenti, della comunità e degli ecosistemi naturali. Gli elementi a seguire sono i principali elementi evidenziati dal processo progettuale per l'impegno nella creazione di una comunità rurale resiliente:

Relazione tra *mass timber* e bioeconomia:

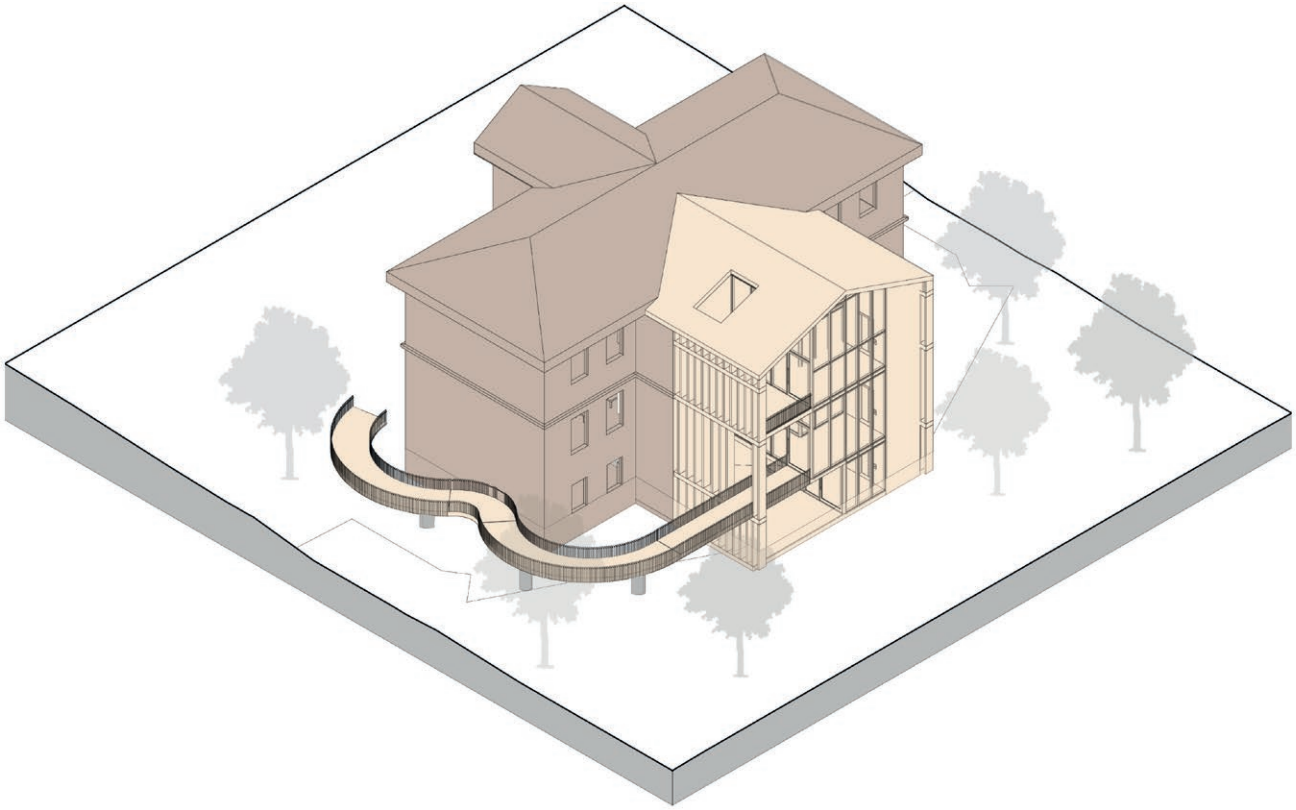
– Il *mass timber* e i prodotti di ingegneria avanzata modernizzano la struttura avvicinando nuovamente la comunità

04 |



05 | Focus architettonico sull'utilizzo del *mass timber* come possibile aggiunta su un edificio storico. Elaborazione dei risultati della BSI International Students' Charrette 2024. Elaborazione grafica degli autori

Architectural focus on mass timber as a possible addition to heritage buildings. Results of the BSI International Students' Charrette 2024



alla bioeconomia.
- Stimola la crescita economica regionale attraverso la creazione di posti di lavoro e la rivitalizzazione culturale.
- La prefabbricazione dimostra la sua idoneità allo sviluppo rurale e offre un modello per pratiche di costruzione sostenibili.

Sostenibilità energetica e sociale:
- L'integrazione di una residenza per anziani ad alta efficienza energetica supporta i principi della progettazione rigenerativa promuovendo la coesione sociale e collegando i residenti ai servizi della comunità.
- La residenza mette in mostra l'applicazione di successo di tecniche di costruzione moderne e sostenibili in contesti rurali.

Sviluppo olistico:
- Il progetto integra sistemi passivi come la ventilazione naturale che utilizza i modelli di vento e la raccolta solare attraverso un orientamento ottimizzato dell'edificio.
- Impegno a pensare a sistemi completi, garantendo l'efficienza energetica e una ridotta impronta di carbonio.

Biofilia per la salute e il benessere:
- Occorre dare priorità al benessere dell'utente considerando visibilità della natura, luce naturale e materiali che promuovono una connessione con la natura.
- Occorre concentrarsi sul ripristino ecologico, compresa l'integrazione delle zone umide, per migliorare la biodiversità.
- Introdurre la biofilia nella progettazione per ridurre lo stress, migliorare la creatività e migliorare i risultati di salute per gli utenti.

Economia circolare e materiali sostenibili:
- Utilizzare il *mass timber* e altri materiali rinnovabili a basse emissioni di carbonio per ridurre l'impatto ambientale garantendo al contempo flessibilità strutturale.
- La duttilità del legno massiccio permette di lavorare armoniosamente con l'edificio esistente, combinando perfettamente vecchie e nuove tecniche costruttive.
- I principi dell'economia circolare si raggiungono riducendo al minimo la necessità di utilizzo di nuovi materiali e massimizzando il riutilizzo delle strutture esistenti.

Il progetto della *Wooler Schoolhouse* sarà un modello per integrare la conservazione del patrimonio e il benessere della comunità attraverso lo sviluppo rigenerativo. Le intuizioni e le migliori pratiche acquisite saranno raccolte in un caso di studio completo per lo sviluppo rurale rigenerativo, offrendo una guida preziosa per progetti futuri sia in Canada che all'estero. Ciò consentirà agli sviluppatori, ai comuni e alle organizzazioni comunitarie di adottare i principi della progettazione rigenerativa, garantendo che le comunità rurali e regionali siano preservate e prosperino in modo sostenibile (Figg. 6, 7, 8).

Conclusioni

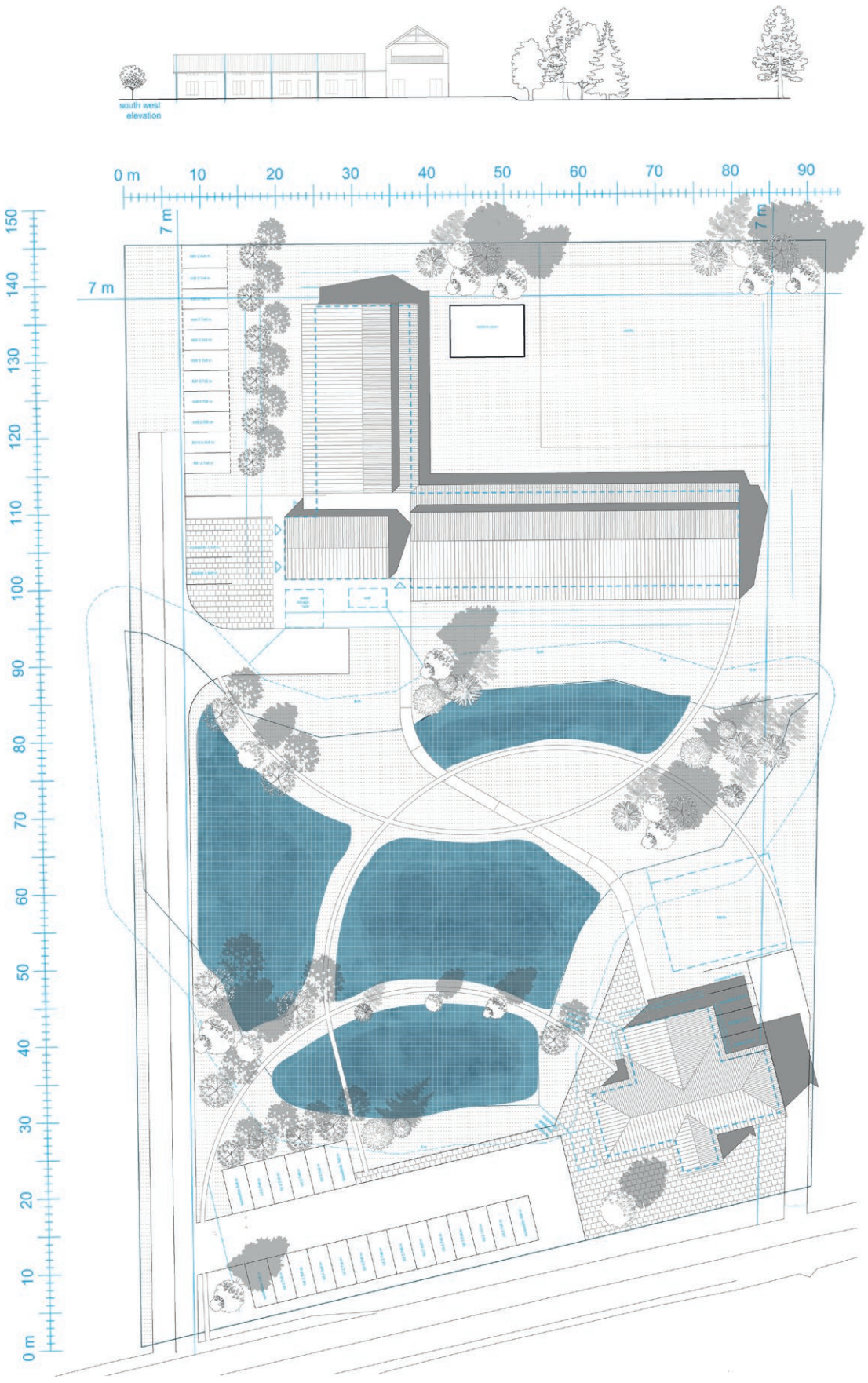
È chiaro che in tutto il Canada e in tutto il mondo ci sono molte costruzioni del patrimonio culturale che sono sopravvissute al loro uso originario, e necessitano di essere salvaguardate e rigenerate. In ogni piccola comunità può esserci un insieme di chiese, le *legion hall* dei veterani, edifici comunali in disuso e spazi comunitari indissolubilmente legate a intere generazioni. Nelle comunità più piccole, c'è anche un profondo bisogno di rinnovare tali spazi della cultura e delle attività socioeconomi-

older municipal buildings and community halls that have anchored their communities for generations. There is also a deep need for the renewal of community spaces for culture, economic development and social purposes, and for the addition of needed affordable housing to ensure that people in the community can age in place, and that young families have a place to live intergenerationally. They also need public space interventions that strengthen their climate resilience. The sustainability of many communities can be strengthened by a development model, which generates more affordable housing while revitalising and preserving community assets and creating vibrant, environmentally designed new public spaces. Projects like the Wooler one can also be incubators of innovative construction practices and development skills the world needs to adopt to achieve our net zero goals as we move forward to 2050.

While the Wooler project is moving forward albeit with reduced ambitions of providing less housing than conceived initially, and more typical housing (single family versus the originally planned housing for seniors), besides a less ambitious landscaping plan for an environmental learning area, it provides the model for a redevelopment management process that could be adopted in other municipalities. This process could recognise and maintain heritage, foster sustainability objectives, and provide needed new density by envisioning a participatory redevelopment process. These assets would weave together into a regenerative model for development that can be of service and embraced by the community at large, including both public and private sectors, seeing them work together for the common good.

06 | I risultati: masterplan dei nuovi edifici e progetto del parco delle zone umide
The results: masterplan of the new buildings and project of the wetland park

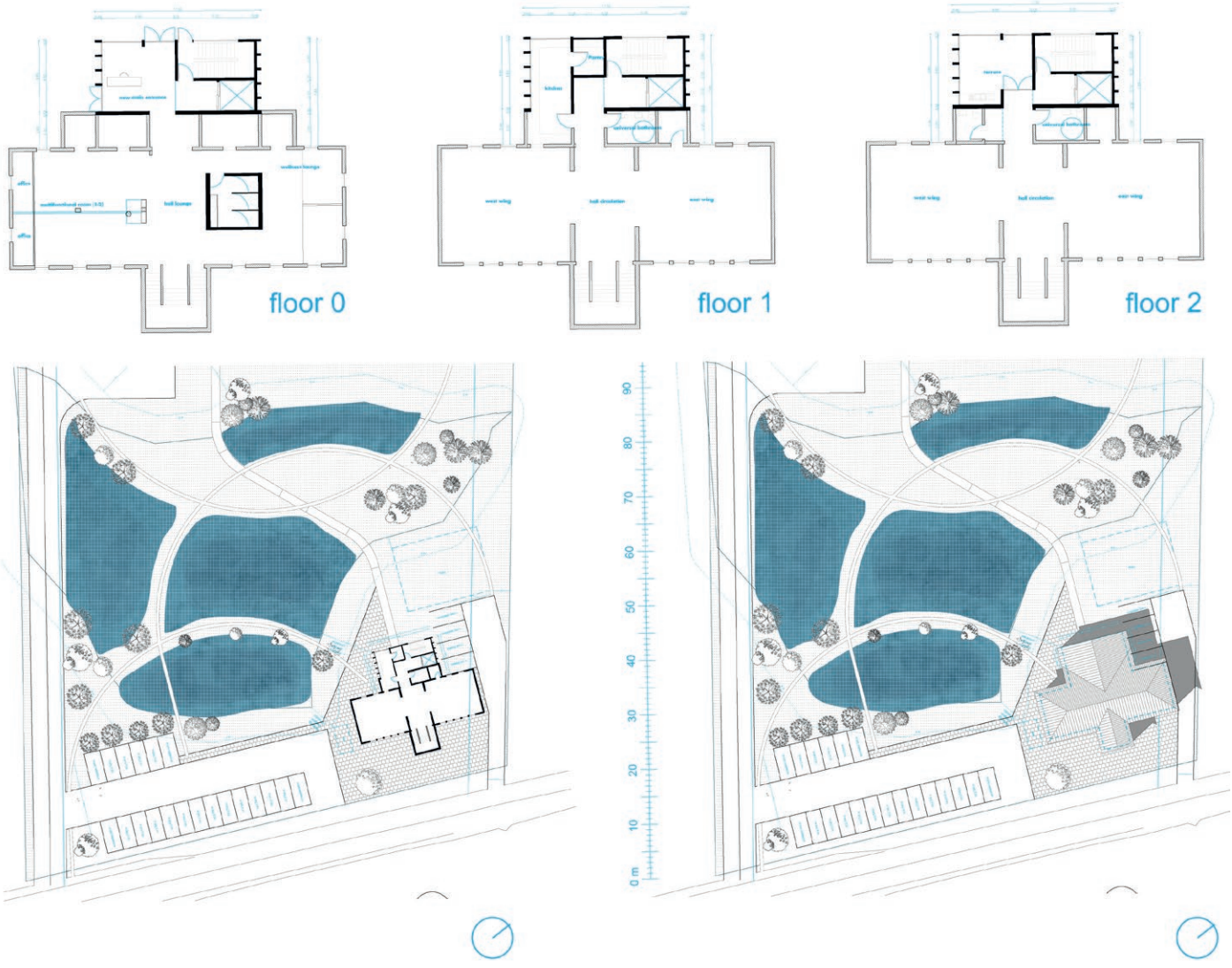
| 06



07 | I risultati: aggiunta in *mass timber* all'edificio storico della scuola
The results: mass timber addition to the heritage building of the Schoolhouse

che, nonché di introdurre alloggi accessibili necessari per garantire che in una comunità le persone possano invecchiare nel proprio paese, e che le giovani famiglie possano vivere in maniera intergenerazionale. Le comunità hanno anche bisogno di interventi nello spazio pubblico che rafforzino la loro resilienza al cambiamento climatico. La sostenibilità di molte comunità può essere rafforzata da un modello di sviluppo che generi alloggi accessibili, attraverso la rivitalizzazione e il consolidamento dei beni comuni, e progettando nuovi spazi pubblici vivaci e sostenibili per l'ambiente. Progetti come quello di Wooler si possono ritenere incubatori di pratiche innovative di competenze costruttive di cui il mondo ha bisogno per raggiungere gli obiettivi di emissioni zero entro il 2050.
Seppur il progetto della *Wooler Schoolhouse* stia procedendo, sono stati ridimensionati gli ambiziosi propositi, fornendo un numero minore di alloggi e maggiormente convenzionali (di tipo unifamiliare anzichè per anziani come originariamente previsti) e un piano paesaggistico meno audace per l'area di educazione ambientale; nonostante ciò, il progetto fornisce il modello per un processo che potrebbe essere esportato in altre municipalità. Que-

07 | **WOOLER SCHOOLHOUSE ADDITION**



sto processo permetterebbe di riconoscere e preservare il patrimonio storico, promuovendo obiettivi di sostenibilità e fornendo la necessaria nuova densità abitativa attraverso processi partecipativi. Tutte queste risorse contribuiscono alla formulazione di un modello progettuale di rigenerazione delle e per le comunità, ma in generale anche per soggetti del settore pubblico e privato, dal momento che li pone a lavorare insieme per il bene comune.

NOTE

[1] Traduzione letterale, in lingua originale "*Inner Peripheries*", comunemente chiamate Aree Interne nella letteratura scientifica italiana.

REFERENCES

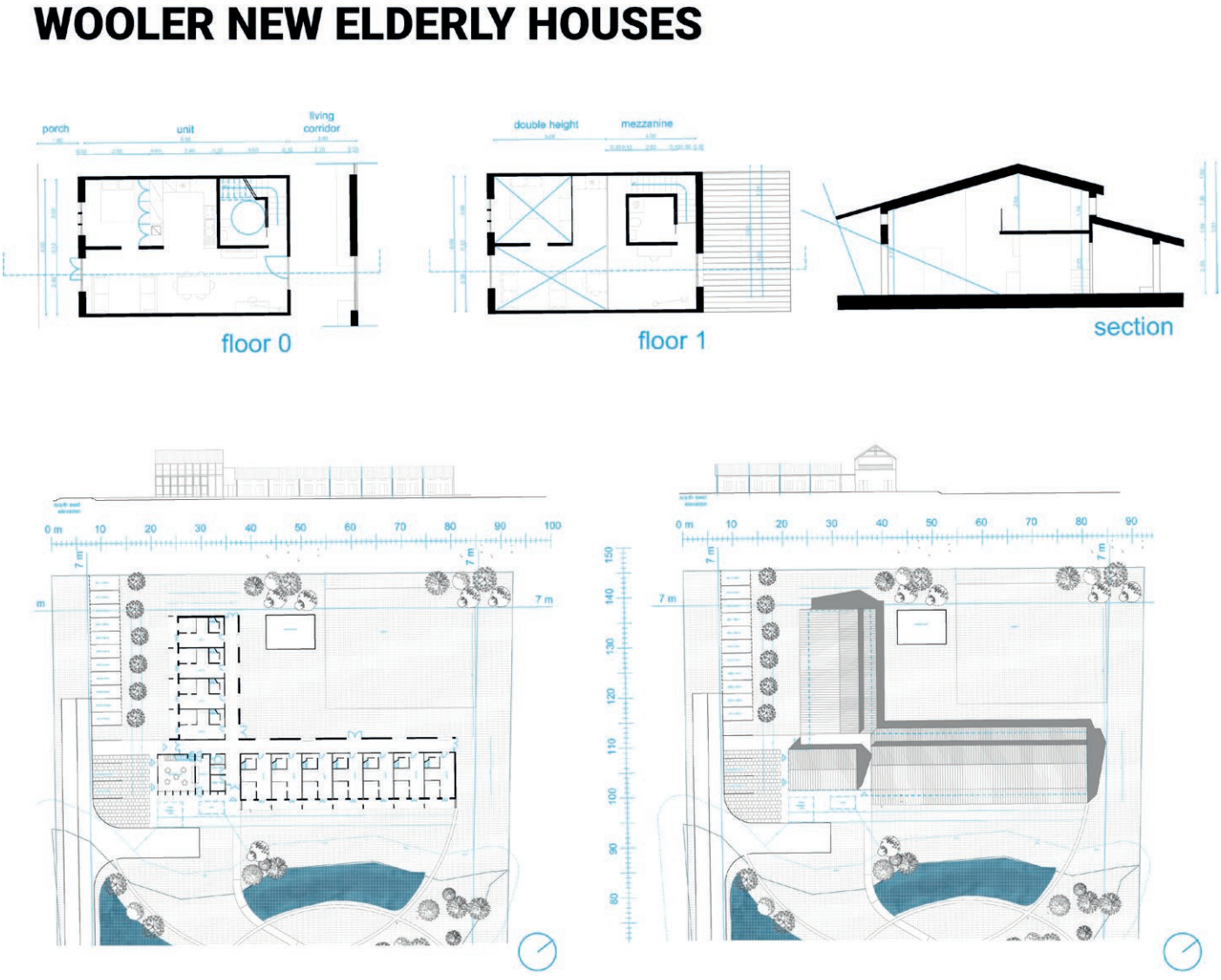
Bioneers (2022), *Designing for a Regenerative Future: What's Love Got to Do with It? With Jason McLennan*. Available at: https://bioneers.org/designing-regenerative-future-love-jason-mclennan/ (accessed on 09/09/2024).

Butler, T., MacLeod, D., Madonna, V. and Tsang, H. (2021), Carbon Neutral Buildings in Canada – A Holistic Case Study. *Sustainability in Energy and Buildings: Research Advances*, 9, 36-42.

Cole, R.J. (2012), "Transitioning from green to regenerative design", *Building Research and Information*, *40*(1), 39-53. Available at: https://doi.org/10.1080/09613218.2011.610608 (accessed on 09/09/2024).

Cucinella, M. (2018), *Projects for the Future of the Country's interior territories Padiglione Italia alla Biennale Architettura 2018,* Quodlibet, Macerata.

| 08



ESPON (2017), "PROFECY-Processes, Features and Cycles of Inner Peripheries in Europe". Available at: www.espon.eu (accessed on 09/09/2024).

Goddard-Bowman, R. (2014), "Something old is something new: The role of heritage preservation in economic development". *Papers in Canadian Economic Development,* Vol. 9, pp. 96-109. Available at: https://openjournals.uwaterloo.ca/index.php/pced/article/view/4002/4957 (accessed on 09/09/2024).

Government of Canada (2024), "Rural opportunity, national prosperity: An Economic Development Strategy for rural Canada". Available at: https://ised-isde.canada.ca/site/rural/en/rural-opportunity-national-prosperity-economic-development-strategy-rural-canada (accessed on 09/09/2024).

Ismail-Tega, R., Khan, A., Schaffter, C. and Senthilnathan, N. (2020), "Supporting Affordable Housing for Canadian Seniors Living in Rural Communities". Available at: https://www.mcgill.ca/maxbellschool/article/articles/policy-lab-2020-supporting-affordable-housing-canadian-seniors-living-rural-communities (accessed on 09/09/2024).

Mang, P. and Reed, B. (2022), "Designing from Place: A Regenerative Framework and Methodology. Statistics Canada. Population growth in Canada's ruralCanada's 2016 to 2021". Available at: https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/as-sa/98-200-x/2021002/98-200-x2021002-eng.cfm?utm_source=chatgpt.com (accessed on 28/11/2024).

Riscoprire le fibre naturali per l'architettura tessile

Ilaria Pugliese[1], https://orcid.org/0009-0009-8187-4124 ilaria.pugliese@polimi.it
Samica Sadik[2], https://orcid.org/0000-0001-6711-2793 samica.sadik@helsinki.fi
Alessandra Zanelli[1], https://orcid.org/0000-0002-7635-1531 alessandra.zanelli@polimi.it
[1] Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia
[2] Department of Craft Studies, Faculty of Educational Sciences, University of Helsinki, Finland

Abstract. Le risorse locali offrono alla produzione industriale l'opportunità di ottimizzare i processi, promuovendo al contempo la biodiversità e un utilizzo diversificato delle materie prime. La ricerca prende in esame fibre naturali liberiane attualmente sottoutilizzate per applicazioni nell'architettura tessile – un settore fortemente dipendente da risorse non rinnovabili – confrontandone le proprietà tecniche e gli impatti ambientali per supportare una scelta consapevole dei materiali. Inoltre, ricostruisce scenari di produzione analizzando diverse tipologie di materiali fibrosi, la loro processabilità in tessuti per l'edilizia e l'infrastruttura al momento disponibile per la prima lavorazione delle fibre e la produzione tessile.

Parole chiave: Fibre naturali; Fibre liberiane; Architettura tessile; Produzione localizzata; Sviluppo di filiera.

Introduzione

Le fibre vegetali europee per uso tessile, come lino (*Linum usitatissimum*), canapa (*Cannabis sativa*) e ortica (*Urtica dioica*), sono materie prime annualmente rinnovabili, provenienti dagli attuali sistemi agroalimentari, e offrono risorse alimentari e non alimentari combinate, con origine controllata e prontezza logistica. La disponibilità limitata di tecnologie per la lavorazione del fusto e della fibra (Alex *et al*., 2005), insieme alla delocalizzazione del settore tessile, hanno contribuito alla scomparsa dell'industria in Europa. In contemporanea l'avvento delle fibre sintetiche e di tecnologie di produzione avanzate ha ampliato le tipologie di materiali e tessuti per potenziali applicazioni in settori industriali.
Nell'architettura tessile, materiali ad alte prestazioni hanno permesso la creazione di sistemi leggeri che offrono resistenza ed efficienza utilizzando quantità minime di materiale. Questo approccio contrasta con gli impatti ambientali dei materiali prevalentemente non rinnovabili utilizzati nella produzione, come PES, PVC e PE, e fibre sintetiche come vetro e carbonio. Gli sforzi per migliorare la sostenibilità delle membrane in architettura si sono concentrati principalmente sulle tecnologie di riciclo, in linea con i principi della ISO 20887:2020, mentre l'uso di materiali rinnovabili ha ricevuto un'attenzione più limitata (Zanelli *et al*., 2020).
Il ciclo di vita dell'architettura tessile comprende soluzioni temporanee, come installazioni e allestimenti di edifici, così come applicazioni permanenti, in strutture chiuse o involucri edilizi. Temporaneità e durata prevista del sistema possono rendere idoneo l'uso di materie prime naturali alternative per una vasta gamma di applicazioni.
In un contesto di obiettivi di neutralità climatica, una prospettiva "oltre la decarbonizzazione" si estende al di là della sola neutralità carbonica in specifiche fasi della produzione. Comprendere le fonti disponibili di materie prime, i metodi di lavorazione e relative potenzialità applicative può contribuire ad un approccio olistico all'industria di nuova generazione.

Obiettivi della ricerca e metodologia

La ricerca affronta il tema della "Neutralità Climatica e Progetto Ambientale" delineando le fibre naturali come risorsa potenziale per l'architettura tessile e mappando scenari di produzione di prodotti tessili per l'edilizia, basati sull'infrastruttura di produzione esistente, al fine di supportare e innovare il processo di selezione delle materie prime.

Natural fibre sourcing for textile architecture

Abstract. Local resources can provide industrial production opportunities to improve processes while enhancing biodiversity and the use of raw materials. This research profiles currently underused bast plant fibres for environmentally sound textile applications in architecture – a sector heavily reliant on non-renewable resources – by comparing their technical properties and environmental impacts to support material selection. It also reconstructs production scenarios by evaluating fibre material typologies, their processability in textile-based building materials, and the existing fibre processing and textile manufacturing infrastructure.

Keywords: Natural fibres; Bast fibres; Textile architecture; Localised production; Supply chain development.

Introduction

European textile-grade plant fibres such as flax (*Linum usitatissimum*), hemp (*Cannabis sativa*), and nettle (*Urtica dioica*) are annually renewing material feedstocks originating from current agri-food systems. They provide both food and non-food materials with controlled origin and logistical readiness. The limited availability of stem and fibre processing technologies (Alex *et al*., 2005), and the relocation of the textile sector have contributed to the disappearance of the industry in Europe. Meanwhile, the emergence of synthetic fibres and advanced manufacturing technologies has expanded the variety of textiles in terms of types, materials, and potential applications across various industrial fields.
In textile architecture, high performance materials have enabled the creation of lightweight systems, which offer strength and efficiency while using minimal material quantities. This approach contrasts with the environmental impacts of predominantly non-renewable materials used in production, such as PES, PVC, PE, and synthetic fibres like glass and carbon. Sustainability efforts in membrane architecture have primarily concentrated on recycling technologies aligned with the principles of ISO 20887:2020, while using renewable materials has received limited attention (Zanelli *et al*., 2020).
The life cycle of textile architecture encompasses temporary solutions, such as installations and building fit-out, as well as permanent applications, including enclosed structures and integrated building envelopes. The temporary and expected lifespan of the system could make alternative natural materials sufficient for a wide range of applications.
In the context of climate neutrality targets, a "beyond decarbonisation"

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16594

Lo studio si allinea con gli obiettivi di simbiosi industriale del partenariato esteso MICS (*Made in Italy and Circular Sustainability*) finanziato dal MUR attraverso il programma *NextGenerationEU* (PNRR). Nello specifico si svolge nell'ambito del progetto "Circular Design for Natural Fibers", che prevede la seguente struttura di lavoro: (1) esplorazione di nuove soluzioni e scenari; (2) valutazione della fattibilità tecnica; (3) sperimentazione e test dei materiali; (4) valutazione ambientale, sociale ed economica.
Questo articolo presenta la metodologia e i risultati relativi alla fase 1, sviluppati nei seguenti passaggi: i) identificazione delle fibre naturali per l'architettura tessile e caratterizzazione delle loro proprietà tecniche, derivate dalla letteratura scientifica e prodotti di mercato; ii) analisi della disponibilità e degli impatti ambientali associati alla produzione agronomica di fibre naturali, utilizzando un modello adattato di contabilità gestionale (Sadik, 2019), che considera gli input delle attività produttive; iii) Mappatura delle tipologie di materiali rilevanti e delle tecnologie di lavorazione disponibili per applicazioni tessili in edilizia, valutando le diverse qualità di fibra e la loro processabilità.

Fibre naturali per l'architettura tessile

Le fibre naturali nell'architettura tessile sono una risorsa relativamente poco esplorata; tuttavia, le loro proprietà intrinseche, come isolamento termico, traspirabilità, assorbimento acustico e controllo dell'umidità, suggeriscono applicazioni promettenti nel settore.
I tessuti tecnici si differenziano da quelli tradizionali per le loro avanzate caratteristiche funzionali, come prestazioni fisiche, chimiche e meccaniche, che prevalgono su quelle estetiche (De Giuli and Ferrari, 2013). Tuttavia, l'architettura tessile è determinata in egual modo dalle prestazioni tecniche dei suoi materiali e dalle loro qualità estetiche, quali leggerezza, flessibilità e permeabilità alla luce. Comprende materiali come tessuti, film e non tessuti, utilizzabili in sistemi flessibili o semi-flessibili, come membrane multistrato, o in sistemi rigidi, come scocche in resina.
L'uso delle fibre vegetali si sta diffondendo in vari settori industriali per funzioni strutturali come rinforzo nei materiali compositi, offrendo riduzione del peso e miglioramento delle proprietà meccaniche. Nel settore delle costruzioni, ricerche pioneristiche hanno esplorato l'uso del lino per sistemi di facciata biocompositi (ad es., BioBuild; CORDIS, 2011) e in strutture sperimentali realizzate con la tecnologia *filament winding* (ad es., The LivMatS Pavilion; Pérez *et al*., 2022). A livello commerciale, le fibre naturali vengono principalmente impiegate per l'isolamento termico e acustico grazie alla loro alta porosità e bassa conducibilità termica. Inoltre, sul mercato sono disponibili alcuni prodotti per la finitura degli interni, come strati tessili, finanche strati di controllo del vapore.
La tabella 1 riassume le caratteristiche più rilevanti per applicazioni tessili tecniche in edilizia delle principali fibre liberiane europee, includendo la specie asiatica ramiè (*Boehmeria nivea*). Da un'analisi della letteratura scientifica emerge che le fibre selezionate sono comparabili in termini di elasticità e resistenza allo sforzo, con la canapa che presenta caratteristiche leggermente inferiori. Queste fibre mostrano proprietà meccaniche favorevoli, che si avvicinano a quelle della fibra di vetro, il rinforzo sintetico più utilizzato, con una resistenza alla trazione di 1700-3500 MPa (Chawla, 2001). La leggerezza della fibra di

approach extends over sole carbon neutrality at specific stages of production. Understanding the sources of available raw materials, processing methods, and their potential features for final applications can contribute to a more thorough approach to the next-generation industry.

Research objectives and methodology
The research addresses the theme of 'Climate Neutrality and Environmental Design' by profiling potential natural fibre feedstocks and mapping production scenarios for textile-based building products, considering existing manufacturing infrastructure, to support and innovate the material selection process.
The study aligns with the industrial symbiosis goals of the extended partnership MICS (Made in Italy and Circular Sustainability), funded by MUR through the European Union's Next-GenerationEU (PNRR) programme. It is conducted within the framework of the "Circular Design for Natural Fibers" project, which has the following work structure: (1) exploration of new solutions and scenarios; (2) evaluation of technical feasibility; (3) material experimentation and testing; (4) environmental, social, and economic assessment.
This paper presents the methodology and results related to work package 1, focusing on the following specific steps: i) identifying natural fibres suitable for textile architecture and characterising their technical properties based on scientific literature and market products; ii) profiling the availability of natural fibre feedstocks and their environmental impacts using an adapted agronomic management accounting model (Sadik, 2019), which assesses the impacts of input use; iii) mapping key materials and available processing technologies for textile-based building applications, evaluating different fibre grades and their processability.

Natural fibres for textile architecture
Natural fibres in textile architecture are a relatively underexplored resource. However, their intrinsic properties, such as thermal insulation, breathability, sound absorption, and moisture control, suggest valuable applications in the field. Technical textiles distinctly differ from traditional ones, as their advanced functional properties, including physical, chemical, and mechanical performance, take precedence over aesthetics (De Giuli and Ferrari, 2013). Nonetheless, textile architecture is equally defined by the technical behaviour of its materials and their aesthetic qualities, including lightweight, flexibility, and light permeability. It comprises materials such as fabrics, films, and non-wovens, which can be employed in flexible or semi-flexible systems, like multi-layer membranes, or rigid systems, such as resin shells.
Plant fibres are increasingly used in various industries for structural functions as reinforcement in biocomposite materials, providing weight reduction and mechanical properties. In construction, pioneering research has explored the use of flax in composite façade systems (e.g., BioBuild; CORDIS, 2011) and experimental filament-wound composite structures (e.g., The LivMatS Pavilion; Pérez *et al*., 2022). Commercially, natural fibres are primarily used for thermal and acoustic insulation due to their high porosity and low thermal conductivity.

Tab. 01 | Proprietà delle fibre liberiane rilevanti per applicazioni in tessuti tecnici in edilizia, derivate da letteratura scientifica e prodotti di mercato
Relevant technical properties of plant fibres for technical textile building applications, derived from scientific literature and market products

| Tab. 01

Natural Fibres	Morphological properties			Mechanical properties				Thermal	References
	Lenght (avg) (mm)	Diameter (avg) (µm)	Density (g/cm³)	Tensile strenght (cN tex-1)	Ultimate stress (MPa)	Strain to failure (%)	Young's modulus (GPa)	Thermal conductivity [W/mK]	
Flax *(Linum usitatissimum)*									[1] (Mather and Wardman, 2015)
	27 ± 3	17,8 (± 5,8)	1,53	N/A	1339 (± 486)	3,27 (± 0,4)	58 (± 15)	0,038	[2] (Bodros and Baley, 2008)
	[1]	[2]	[2]		[2]	[2]	[2]	[a]	[3] (Bacci *et al*., 2009)
Hemp *(Cannabis sativa)*									[4] (Bacci *et al*., 2011)
	20 (±5)	31,2 (± 4,9)	1,48	N/A	270 (± 40)	0,8 (± 0,1)	19,1 (± 4,3)	0,039	[a] Insulation roll-plate, Isolina
	[1]	[2]	[2]		[2]	[2]	[2]	[b]	[b] NatuHemp, Black Mountain Insulation Limited
Nettle *(Urtica dioica)*									
	50 (±12)	23 – 46	0,72	7 – 182	1594 (± 640)	1 – 7	87 (± 28)	N/A	
	[3]	[4]	[3]	[4]	[2]	[4]	[2]		
Ramie *(Boehmeria nivea)*									
	135 ± 15	34	1,51	N/A	900	2,5	65 (± 18)	N/A	
	[2]	[2]	[2]		[2]	[2]	[2]		

ortica (0,72 g/cm³), rispetto al peso specifico della canapa e del lino (1,5-1,54 g/cm³; Bacci *et al*., 2011), rappresenta una caratteristica aggiuntiva per potenziali applicazioni. Inoltre, i valori di conducibilità termica dei prodotti di isolamento a base di lino o canapa, quelli con contenuto di fibra più elevato disponibili sul mercato, mostrano prestazioni competitive (0,038-0,039 W/mK), comparabili ai materiali di isolamento convenzionali come la lana minerale (0,035 W/mK). Attualmente, non vi sono evidenze di prodotti di isolamento a base di ortica europea, evidenziando una lacuna sia nel mercato che nella ricerca.
Nonostante proprietà favorevoli, le fibre naturali possono presentare limitazioni nel raggiungere le stesse *performance* dei materiali sintetici da costruzione, in particolare in termini di resistenza meccanica e durabilità. Tuttavia, la durata tipica di componenti tessili in edilizia varia dai 15 ai 30 anni per le membrane strutturali, fino a 1-5 anni per applicazioni interne come contro soffitti, schermi di partizione, sistemi di rivestimento e installazioni temporanee (Mazzola, 2020). Data la vita utile più breve dei tessuti in architettura, l'uso delle fibre naturali può risultare adeguato e migliorare il comfort ambientale nelle relative applicazioni.

Scenari di produzione Implementare un'infrastruttura di prima trasformazione idonea a tutte le fibre liberiane può favorirne l'uso industriale e la fattibilità economica (Reyneri *et al*., 2001). Lino, canapa e ortica sono stati studiati per il loro potenziale applicativo industriale (Bacci *et al*., 2009; Dreyer *et al*., 2002; Jeannin *et al*., 2020; Ouagne *et al*., 2020; Pasila, 2000) e possono essere lavorati in modo simile utilizzando gli stessi macchinari quando la contaminazione tra spe-

Additionally, some interior finishing products, such as textile sheets, and vapour control layers, are available on the market.
Table 1 summarises the most relevant features for technical textile building applications of main European plant fibres, including Asiatic ramie (*Boehmeria nivea*). An analysis of the scientific literature shows that the selected bast fibres are comparable in terms of elasticity and stress resistance, with hemp exhibiting slightly inferior characteristics. These fibres demonstrate favourable mechanical properties, approaching those of e-glass, the most widely used synthetic reinforcement, with a tensile strength of 1700-3500 MPa (Chawla, 2001). Nettle fibre's light weight (0,72 g/cm³), compared to hemp and flax (1,5-1,54 g/cm³; Bacci *et al*., 2011), is an additional feature for potential applications. Furthermore, the thermal conductivity values of flax or hemp-based building insulation products, those with higher fibre content available on the market, demonstrate competitive performance (0,038-0,039 W/mK), comparable to conventional insulation materials such as mineral wool (0,035 W/mK). Currently, there is no evidence of the development of European nettle-based insulation products, highlighting a gap in both the market and the literature.
Despite favourable properties, natural fibres may have limitations in achieving the performance levels of synthetic materials, particularly regarding mechanical resistance and durability. However, in construction, the typical service life of textile components ranges from 15-30 years for structural membranes to 1-5 years for indoor applications such as ceilings, screens, walling systems and temporary installations (Mazzola, 2020). Due to the shorter lifespan of textiles in architecture, natural fibres could offer significant potential to enhance environmental comfort in related applications.

Production scenarios
Establishing a first-processing infrastructure suitable for all bast fibres is key to increasing their industrial use and economic feasibility (Reyneri *et al*., 2001). Flax, hemp and nettle have all been studied for their fibre output in industrial applications (Bacci *et al*., 2009; Dreyer *et al*., 2002; Jeannin *et al*., 2020; Ouagne *et al*., 2020), and can be processed similarly using the same machinery when contamination between fibres is not a concern. This production scenario aims to improve the profitability of fibre production (Alex *et al*., 2015) by leveraging the use of second-grade fibres.

Natural fibre feedstock profiling
The presented bast fibres, nettle excluded, are annual crops with established agronomic practices produced within the food system. Linseed flax is regionally produced in Italy, while fibre varieties are sensitive to climate and soil conditions, and are predominantly cultivated in and Belgium (FAOSTAT, 2022). Hemp cultivation is present in Italy (ISTAT, 2023), although harvesting and post-harvest processing, along with public acceptance and cultivar regulation, can be challenging. Nettle production is not commercially significant; however, the basic agronomic steps of nettle cultivation have been researched over the years in Italy focusing mainly on Tuscany and Emilia Romagna (e.g., ORTIKA; CORDIS, 2018) (Fig. 1).
Flax, hemp and nettle are regarded as both food and fibre crops within the

cie di fibre non rappresenta un problema. Lo scenario di produzione mira a migliorare la redditività della produzione di fibre (Alex *et al*., 2015) esplorando l'uso di fibre di seconda qualità.

Analisi della produzione agronomica di fibre naturali
Le fibre liberiane presentate, ad esclusione dell'ortica, sono colture annuali con pratiche agronomiche consolidate, prodotte all'interno del sistema alimentare.
Il lino da olio è prodotto a livello regionale in Italia, mentre le varietà da fibra, sensibili al clima e alle condizioni del suolo, sono prevalentemente coltivate in Francia e Belgio (FAOSTAT, 2022). La coltivazione della canapa è presente in Italia (ISTAT, 2023); ciononostante, le fasi di raccolta e lavorazione presentano alcune sfide, così come l'accettazione pubblica e la regolamentazione delle varietà. La produzione di ortica non è significativa a livello commerciale; tuttavia, i passaggi agronomici fondamentali per la sua coltivazione sono stati oggetto di ricerca negli anni, con un focus geografico su Toscana ed Emilia-Romagna (ad es., ORTIKA; CORDIS, 2018) (Fig. 1).
Lino, canapa e ortica sono considerate sia colture alimentari che da fibra nell'ambito della *European Union Common Agricultural Policy*, generando una combinazione di materie prime alimentari e non alimentari in un contesto agricolo. Inoltre, la produzione di fibra di ortica si è dimostrata fattibile anche su terreni contaminati, senza trasferimento di contaminanti nel prodotto finale (Jeannin *et al*., 2020), ampliando le possibilità produttive.

Per valutare i vantaggi agronomici nella produzione di queste fibre, la ricerca ha applicato un modello di contabilità gestionale (Sadik, 2019), adattando l'analisi degli impatti ambientali utilizzata per la produzione di biocarburanti (Stolarski *et al*., 2018) alla valutazione delle fibre sulla base delle attività produttive condotte in contesti italiani (LaMMA-Test, 2007a, b; Masella *et al*., 2024). Dai risultati emerge che l'ortica, essendo una coltura perenne, consente di ridurre l'uso di input e, di conseguenza, gli impatti ambientali durante gli anni di resa, a differenza di lino e canapa, che richiedono un apporto più ampio di input nel tempo (Fig. 2).

Tipologie di materiali e tecnologie di produzione disponibili
L'architettura tessile e il settore edilizio, che permettono l'uso completo di fibre di qualità inferiore, possono ampliare la gamma di applicazioni dei materiali fibrosi oltre l'impiego in tessuti per l'abbigliamento, creando una massa critica di materiale da processare.
Le coltivazioni annuali da fibra producono foglie e semi per uso alimentare, mentre gli steli forniscono diversi tipi di fibre, che variano da quelle tessili di alta qualità a fibre più grosse e corte, fino a materiali cellulosici residui (Fig. 3). Nello specifico: i) le fibre lunghe, di qualità tessile, vengono estratte per ottenere filati con proprietà meccaniche superiori; ii) le fibre corte grezze, residue dalla prima lavorazione, contenenti impurità e canapuli, vengono attualmente lavorate per usi tessili, producendo filati più grossi adatti a tessuti tecnici, o impiegate per applicazioni fibrose; iii) la

01 | **Plant resources for food and non-food use in Tuscany Region**
Characterization and LCA of some products derived from nettle
[2010–2011]

PRIN 2009
Medicinal and dyeing-plants natural extracts:characterization, and innovative poly-use of nettle, daphne, lavender and chestnut tannins
[2010–2012]

ICCOG
Identification and characterization of some clones of nettle and Spanish broom for textile and phytotherapic use
[2008-2009]

NATURAL.TEX
Natural fibres in textile processing chain of Tuscany
[2006]

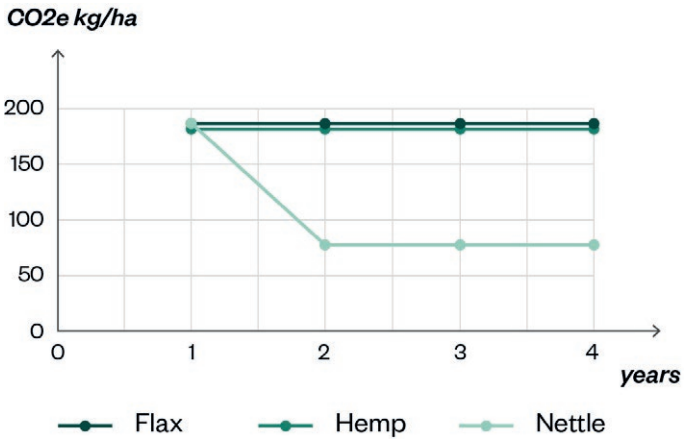
LaMMA-TEST
The textile processing chain in Tuscany
[2005-2007]

FILODOR
La filiera dell'ortica: riscoperta e valorizzazione per le produzioni agro-alimentari dell'areale emiliano-romagnolo
EU funded project
[2020-2022]

ORTIKA
Toward sustainable fashion: nettle and blueberry garments to promote sustainable development of mountain areas and to boost young talents
H2020 project
[2018-2019]

02 | Analisi dell'impatto ambientale delle fibre liberiane tramite un modello di contabilità gestionale adattato (Sadik, 2019; Stolarski *et al.*, 2018) relativo alle attività agronomiche per il contesto italiano
Environmental impact assessments of plant fibres using an adapted management accounting model (Sadik, 2019; Stolarski et al., 2018) based on agronomic production inputs for the Italian context

03 | Processo di produzione dalla biomassa fino ai semilavorati
Production process from biomass to semi-finished products

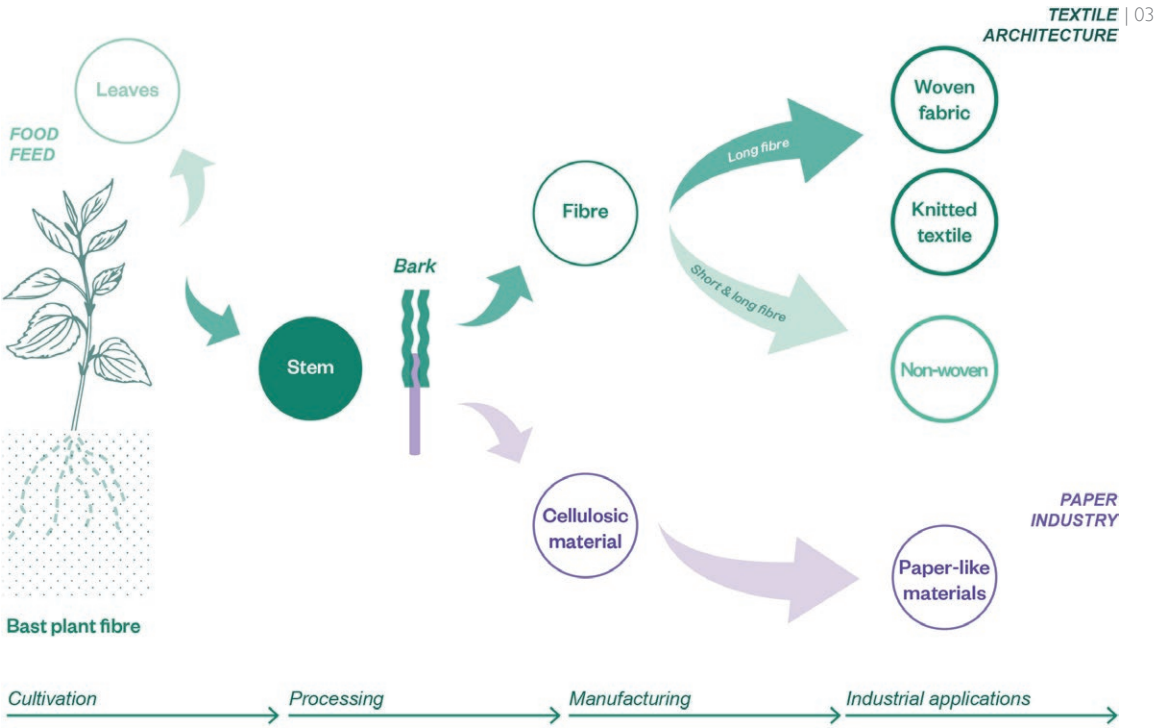


| 02

paglia legnosa, che rappresenta circa il 50% della resa dello stelo, è composta prevalentemente da materiale cellulosico adatto alla produzione di prodotti simili alla carta e imballaggi.
Questa varietà di materiali risulta idonea per la produzione di semilavorati edilizi a base tessile mediante diverse tecnologie disponibili (Fig. 4):

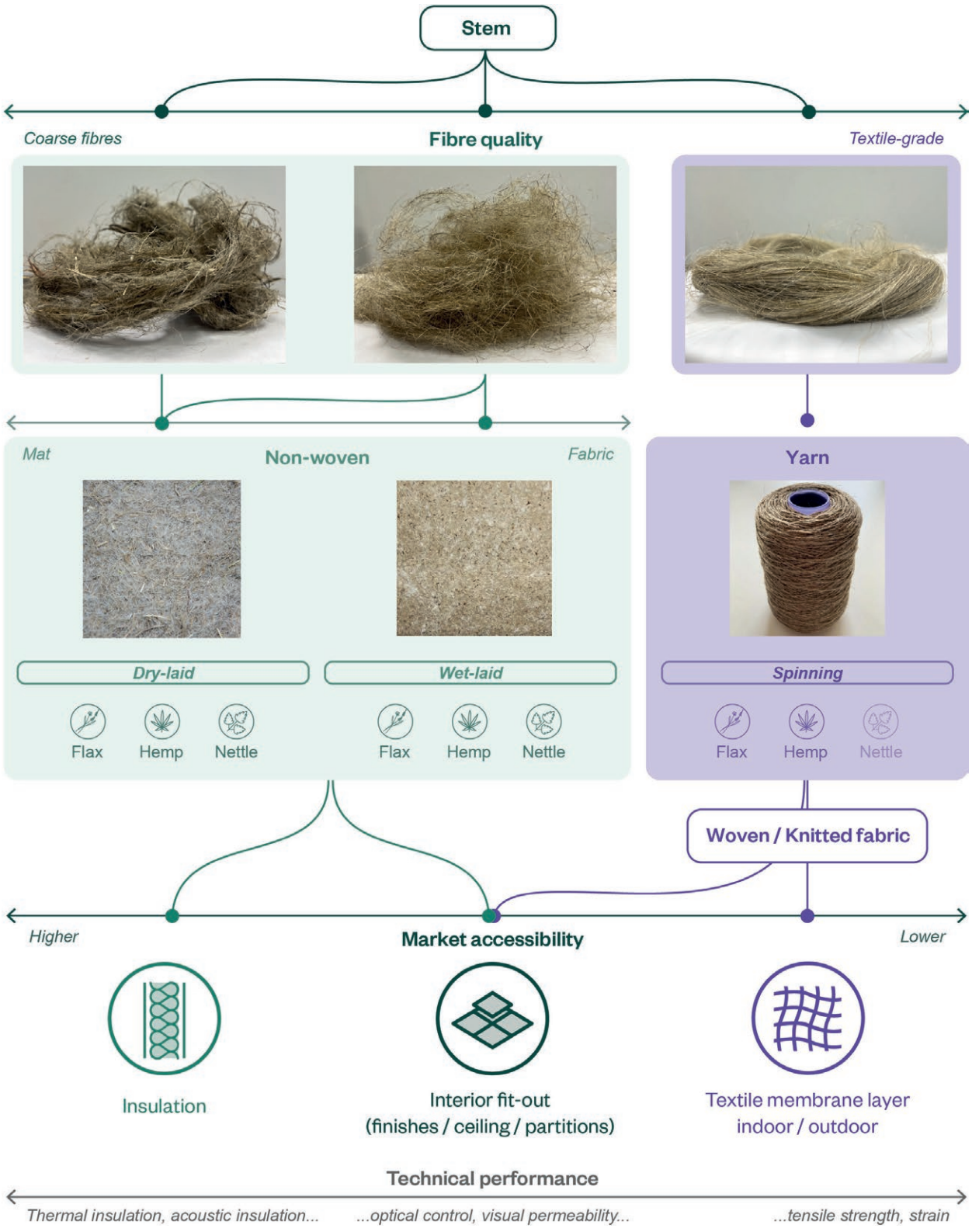
- Non tessuti per l'edilizia: questi materiali trovano impiego come tappetini isolanti, feltratura, finiture interne e barriere al vapore. Tecnologie di produzione consolidate, come processi *dry-laid* (ad es. *airlay*) per non tessuti più spessi e processi *wet-laid* (simili alla produzione della carta), possono accettare diversi tipi di fibre. Il legame può essere meccanico (ad es., agugliatura, cucitura), chimico o termico. La principale sfida consiste nello sviluppo di non tessuti interamente *bio-based*, migliorando la saldatura meccanica o integrando leganti naturali.
- Tessuti per l'edilizia: i filati naturali possono essere trasformati in strutture tessili, come tessuti a maglia, che si prestano ad applicazioni su misura e reversibili senza sprechi di produzione rispetto ai tradizionali tessuti piani. Gli strati tessili possono essere impiegati in membrane tensili (monostrato o multistrato) o in applicazioni per interni, quali allestimenti edilizi, finiture, controsoffitti o partizioni.

L'analisi identifica diversi livelli di accessibilità al mercato per prodotti edilizi a base di fibre naturali in uno scenario di produzione localizzata. L'Italia è il quarto esportatore globale di tessuti industriali e il secondo in Europa (International Trade Centre, 2023). Nella più ampia categoria del tessile tecnico, i tessuti non tessuti raggiungono il 49% del valore totale della produzione (ISTAT, 2022). Nello specifico, (1) la produzione di non tessuti a partire da fibre corte potrebbe beneficiare delle infrastrutture esistenti, con cluster di piccole e medie imprese (PMI) concentrati in regioni specifiche (Fig. 5). Questa categoria di prodotti potrebbe costituire la domanda iniziale per lo sviluppo della filiera. (2) Al contrario, la produzione di tessuti da fibre lunghe presenta maggiori difficoltà a causa delle infrastrutture limitate per la prima lavorazione – le aziende italiane importano la fibra lavorata (FAOSTAT, 2022) – e per la filatura a umido. Per le fibre di qualità inferiore, la filatura a secco, più diffusa, è in grado di lavorare sia fibre lunghe che corte, risultando quindi maggiormente adatta al settore tecnico.



| 03

04 |


Stem
Coarse fibres
Fibre quality
Textile-grade
Mat
Non-woven
Fabric
Yarn
Dry-laid
Wet-laid
Spinning
Flax
Hemp
Nettle
Flax
Hemp
Nettle
Flax
Hemp
Nettle
Woven / Knitted fabric
Higher
Market accessibility
Lower
Insulation
Interior fit-out
(finishes / ceiling / partitions)
Textile membrane layer
indoor / outdoor
Technical performance
Thermal insulation, acoustic insulation...
...optical control, visual permeability...
...tensile strength, strain

In uno scenario a lungo termine, impianti di lavorazione in grado di accettare una gamma più ampia di fibre potrebbero beneficiare di protocolli di lavorazione unificati per diverse varietà di fibre. In Italia, la creazione della filiera e i costi logistici potrebbero essere parzialmente suddivisi tra le industrie mediante l'implementazione di impianti strategicamente posizionati a una distanza accessibile sia dalle aziende manifatturiere che dalle aree di coltivazione.

Discussione e futuri sviluppi

L'articolo esplora le fibre liberiane come materia prima per l'architettura tessile, evidenziando il potenziale dell'utilizzo di fibre di qualità inferiore per ampliare le possibilità produttive e favorire la ricostruzione della filiera. Dopo aver esaminato le proprietà tecniche delle fibre vegetali per diverse applicazioni edilizie, la ricerca profila le materie prime naturali, le tipologie di fibre e i processi disponibili.
L'analisi rivela che la coltivazione dell'ortica presenta vantaggi agronomici rispetto al lino e alla canapa, come minori esigenze di lavoro sul campo e un ridotto uso di input nel tempo. Inoltre, la sua capacità di crescere su terreni marginali offre opportunità economiche in aree non adatte alla produzione alimentare, rendendo l'ortica una scelta promettente per la produzione di fibre.
Riguardo alla processabilità dei materiali, i non tessuti per isolamento o applicazioni d'interni rappresentano un mercato iniziale più accessibile, capace di accogliere una varietà più ampia di tipologie di fibre tramite diverse tecnologie di produzione.
Un limite significativo è la scarsità di tecnologie e impianti adatti per l'estrazione e la filatura delle fibre in Europa, che pone sfide tecniche per lo sviluppo di nuovi prodotti, come filati da fibre sottoutilizzate quali l'ortica. Oltre alle barriere tecnologiche, la disponibilità delle materie prime, influenzata dalla stagionalità delle coltivazioni, potrebbe limitare la scalabilità della produzione.
I successivi passi della ricerca all'interno del progetto MICS includeranno i) caratterizzazione dei materiali: analisi delle proprietà meccaniche, termiche e ottiche di campioni a scala di laboratorio di fibre vegetali selezionate; ii) sviluppo del prodotto: collaborazione con PMI locali e centri di ricerca per esplorare l'utilizzo delle fibre liberiane in sistemi di produzione industriale; iii) *Life Cycle Assessment* (LCA): valutazione di scenari di produzione territoriali e analisi dell'impatto ambientale di diversi prodotti tessili edilizi.
L'innovazione principale della ricerca risiede in un approccio multidisciplinare, che integra agronomia e tecnologia dell'architettura per migliorare la sostenibilità del settore. I beneficiari sono le PMI italiane insieme alle comunità locali, che possono utilizzare il *know-how* e le risorse territoriali per sviluppare prodotti innovativi a partire da fibre provenienti da fonti locali.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Studio condotto nell'ambito del Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile), finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.3 - – D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004). I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione Europea o della Commissione Europea. Né l'Unione Europea né la Commissione Europea possono essere ritenute responsabili per essi.

European Union's Common Agricultural Policy, creating a simultaneous food and non-food material output within the agricultural production environment. Additionally, nettle cultivation for fibre has been found feasible on contaminated lands without transfer into fibre output (Jeannin *et al.*, 2020) widening production possibilities. To evaluate the agronomic advantages of these plant fibres, the research applied a management accounting model (Sadik, 2019), which adapts environmental impact assessments used for biofuel feedstocks (Stolarski *et al.*, 2018) to assess fibre feedstocks based on Italian production activities (LaMMA-Test, 2007a, b; Masella *et al.*, 2024). The results show that nettle, as a perennial crop, reduces input use and environmental impacts during its yield years, compared to flax and hemp, which require a wider range of inputs over time (Fig. 2).

Available materials and processing technologies

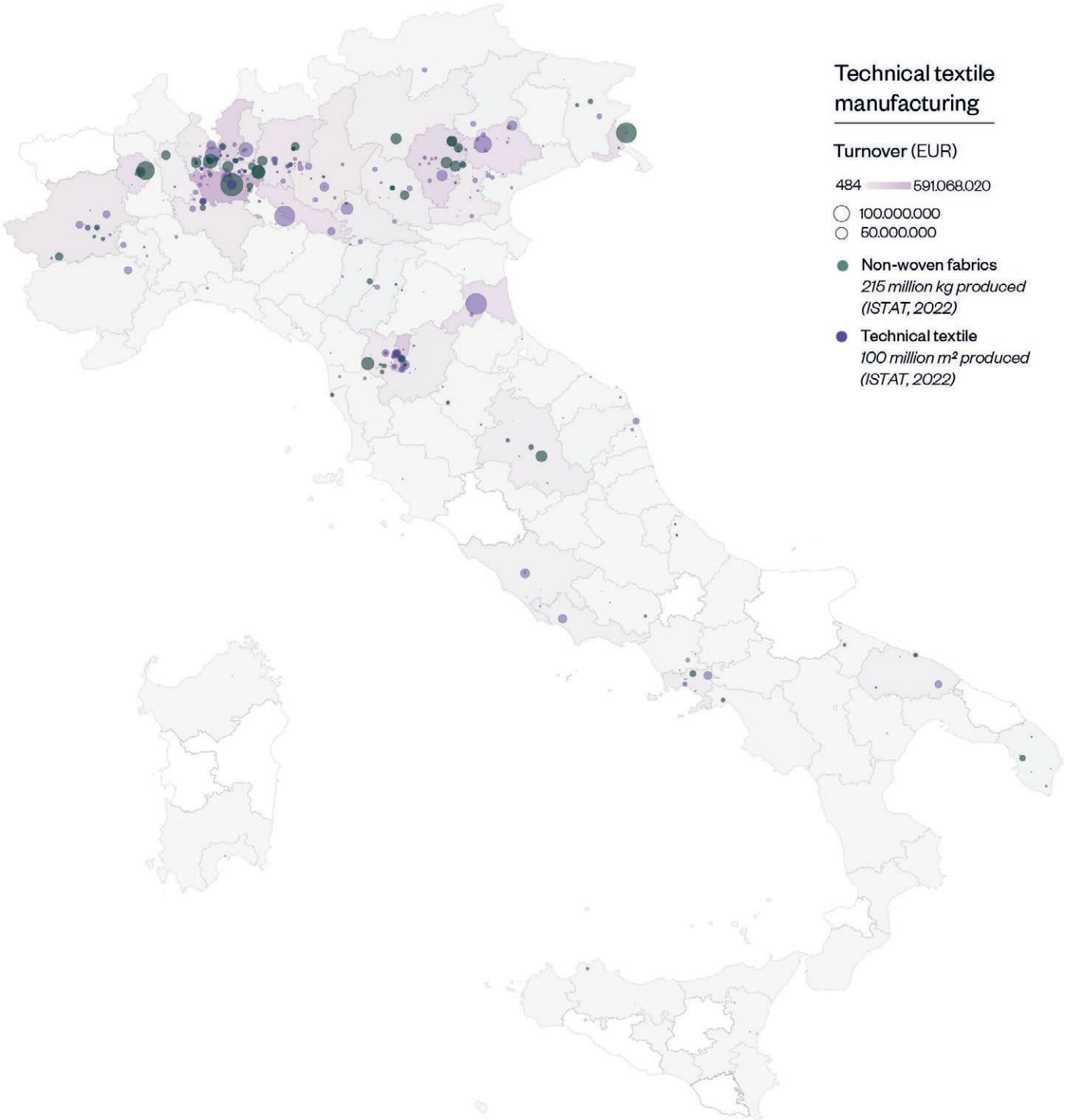
Technical textile and building-related applications, allowing the complete utilisation of lower-grade fibre output, could expand the range of fibre material applications beyond high quality textiles, ensuring a critical mass of material for processing.
Fibre crops' annual outputs consist of leaves and seeds for food use, while the stems yield different fibre types, ranging from high-grade textile fibres to coarser, shorter fibres and residual cellulosic materials (Fig. 3). Specifically: i) Long, garment-grade fibres are extracted for yarns with higher mechanical properties; ii) Raw short fibres, residual from initial processing, which contain impurities and shives, are currently processed for textile uses, yielding coarser yarns suitable for technical textiles and fibrous applications; iii) Woody straw, roughly 50% of the stem yield, consists of primarily cellulosic material suitable for producing paper-like products and packaging.
This range of materials has been identified as suitable for textile-based semi-finished building products through different available manufacturing technologies (Fig. 4):

– Non-woven building applications: These materials are used as insulation mats, felting, interior finishes, and vapour barrier layers. Established manufacturing technologies, such as dry-laid (e.g., airlay) for thicker non-wovens and wet-laid methods (similar to paper production), can accommodate various fibre types. Bonding can be mechanical (e.g., needle-punched, stitch-bonded), chemical, or thermal. The main challenge is developing fully bio-based non-wovens by enhancing mechanical bonding or incorporating natural binders.
– Textile building applications: Natural yarns can be processed into textile structures, such as knitted fabrics, offering customisable, reversible systems with zero waste compared to traditional plain-woven fabrics. Textile layers can be used in tensile membranes (single or multi-layered systems) or interior applications, such as building fit-out, finishing, ceilings, or partition systems.

This analysis identifies varying levels of market accessibility for natural fibre-based building products in localised production. Italy is the fourth largest global exporter of industrial textiles and the second in Europe (International Trade Centre, 2023). In the broader category of technical textiles, non-woven fabrics constituted 49% of the total production value (ISTAT,

05 | Distribuzione della produzione di tessuti tecnici in Italia in base al fatturato (Registro Aziende, 2024)
Distribution of manufacturing for technical textiles in Italy based on turnover value (Registro Aziende, 2024)

05 |



REFERENCES

Alex, R., Kessler, R., Kohler, R., Mayer, G. and Tubach, M. (2005), "Sustainability and Profitability Through Intelligent Value Chain Management in Bast Fibre Processing", *J. Nat. Fibers*, Vol. 1, pp. 67-75. Available at: https://doi.org/10.1300/J395v01n03_04.

Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S. and Di Virgilio, N. (2009), "Fiber yield and quality of fiber nettle (Urtica dioica L.) cultivated in Italy", *Ind. Crops Prod.*, Vol. 1, pp. 480-84. Available at: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.09.005.

Bacci, L., Di Lonardo, S., Albanese, L., Mastromei, G. and Perito, B. (2011), "Effect of different extraction methods on fiber quality of nettle (Urtica dioica L.)", *Text. Res. J.*, Vol. 81, pp. 827-37. Available at: https://doi.org/10.1177/0040517510391698.

Black Mountain Insulation Limited (2014), "NatuHemp". Available at: https://www.blackmountaininsulation.com/NatuHemp_Technical_Sheet.pdf (Accessed on 28/11/2024).

Bodros, E. and Baley, C. (2008), "Study of the tensile properties of stinging nettle fibres (Urtica dioica)", *Mater. Lett.*, Vol. 62, pp. 2143-45. Available at: https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.11.034.

Chawla, K.K. (2001), "Glass fibers", in Buschow, K.H.J., Cahn, R.W., Flemings, M.C., Ilschner, B., Kramer, E.J. and Mahajan, S. (Eds.), *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Elsevier, Oxford, UK, pp. 3541–3545. Available at: https://doi.org/10.1016/b0-08-043152-6/00630-6.

CORDIS European Commission (2011), "BioBuild. High Performance, Economical and Sustainable Biocomposite Building Materials". Available at: https://cordis.europa.eu/project/id/285689/it (Accessed on 28/11/2024).

CORDIS European Commission (2018), "ORTIKA. Toward sustainable fashion: nettle and blueberry garments to promote sustainable development of mountain areas and to boost young talents". Available at: https://cordis.europa.eu/project/id/836019/it (Accessed on 28/11/2024).

De Giuli, I. and Ferrari, R. (2013), "Flexible Composite Materials: Production and Modern Uses of a Polymorphic Material", in Motro, R. (Ed.), *Flexible Composite Materials*, Birkhäuser, pp. 8-25. Available at: https://doi.org/10.1515/9783034613507.8.

Dreyer, J., Müssig, J., Koschke, N., Ibenthal, W.D. and Harig, H. (2002), "Comparison of Enzymatically Separated Hemp and Nettle Fibre to Chemically Separated and Steam Exploded Hemp Fibre", *J. Ind. Hemp*, Vol. 7, pp. 43-59. Available at: https://doi.org/10.1300/J237v07n01_05

FAOSTAT (2022), "Crops and livestock products: Production & Trade". Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data (Accessed on 06/09/2024).

International Trade Centre (2023), "List of products at 4 digits level exported by Italy in 2023". Available at: https://www.trademap.org/index.aspx (Accessed on 06/09/2024).

ISO 20887:2020, "Sustainability in Buildings and Civil Engineering Works. Design for Disassembly and Adaptability. Principles, requirements and guidance".

ISOLINA (2020), "Flax insulation products". Available at: https://www.isolina.com/gb/IsolinaBrochureENG.pdf (Accessed on 28/11/2024).

ISTAT (2022), "Produzione industriale in quantità e valore". Available at: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP_PRODCOM (Accessed on 06/09/2024).

ISTAT (2023), "Coltivazioni industriali". Available at: http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=3370 (Accessed on 28/11/2024).

Jeannin, T., Yung, L., Evon, P., Labonne, L., Ouagne, P., Lecourt, M., Cazaux, D., Chalot, M. and Placet, V. (2020), "Are nettle fibers produced on metal-contaminated lands suitable for composite applications?", *Mater. Today Proc.*, Vol. 31, pp. S291-95. Available at: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.365.

LaMMA-Test (2007a), "Manuale di coltivazione e prima lavorazione della canapa da fibra". Available at: https://agronotizie.imagelinenetwork.com/materiali/Varie/File/Mario_Rosato/Manuale-coltivazione-prima-lavorazione-canapa-.pdf (Accessed on 06/09/2024).

2022). Specifically, (1) the production of non-woven fabrics from short fibres could benefit from existing infrastructure, with clusters of small and medium-sized enterprises (SMEs) concentrated in specific regions (Fig. 5). This product category could drive the initial demand for supply chain development. (2) Conversely, producing textiles from long fibres presents more challenges due to limited infrastructure for fibre isolation – Italian companies import processed fibres (FAOSTAT, 2022) – as well as for wet spinning. For coarser grades, dry spinning is more widespread and can process both long and short fibres, making it more suitable for the technical sector. In a long-term scenario, processing facilities able to accept a wider range of fibre grades could benefit from unified processing protocols of different plant fibre varieties. In Italy, the cost of establishing the supply chain could be partially shared across industries by implementing strategically located plants, within accessible distances from both manufacturing companies and cultivation areas.

Discussion and future steps

This paper explores plant fibres as feedstocks for textile architecture, emphasising their potential to utilise lower-grade fibres, expand manufacturing possibilities, and support supply chain reconstruction. After reviewing the technical properties of plant fibres for various building applications, the research profiles the natural feedstocks, material typologies, and available processes.

The analysis revealed that nettle cultivation demonstrates agronomic advantages over flax and hemp, such as lower labour requirements and reduced input use over time. Additionally, its ability to grow on marginal lands provides economic opportunities in areas unsuitable for food production, positioning nettle as a promising candidate for fibre production scenarios.

Regarding material processability, non-wovens for insulation or interior building products are an initial and more accessible market, capable of accommodating a broader variety of fibre types through various manufacturing technologies.

A key limitation is the scarcity of suitable technologies and facilities for fibre extraction and spinning in Europe, posing technical challenges for product development, such as yarn production from underutilised fibres like nettle. Beyond technological constraints, factors such as feedstock availability, impacted by cultivation seasonality, may also limit final production scalability.

The following steps within the MICS project will include: i) material characterisation: analysing the mechanical, thermal, and optical properties of lab-scale samples from selected plant fibres; ii) product development: collaborating with local SMEs and research centres to explore the usability of selected plant fibres in man-made manufacturing systems; iii) Life Cycle Assessment (LCA): evaluating territorial production scenarios and assessing the environmental impact of different textile-based building products.

The research's main innovation is its multidisciplinary approach, integrating agronomy and architectural technology to improve the sector's sustainability. Beneficiaries include Italian SMEs and local communities, who can leverage territorial expertise and resources to develop innovative products from locally sourced fibres.

LaMMA-Test (2007b), "Manuale di coltivazione e prima lavorazione dell'ortica per uso tessile". Available at: https://agronotizie.imagelinenetwork.com/materiali/Varie/File/Mario_Rosato/manuale-di-coltivazione-e-prima-lavorazione-dell-ortica-per-uso-tessile.pdf (Accessed on 06/09/2024).

Masella, P., Angeloni, G. and Galasso, I. (2024), "Cropping Flax for Grain and Fiber: A Case-Study from Italy", *Biomass*, Vol. 4, pp. 599–609. Available at: https://doi.org/10.3390/biomass4020032

Mather, R.R. and Wardman, R.H. (2015), *The Chemistry of Textile Fibres*, Royal Society of Chemistry, Cambridge. Available at: https://doi.org/10.1039/9781782626534.

Mazzola, C. (2020), "Ultra-lightweight temporary architecture. Defining new minimal mass and efficiency-oriented design strategies through an experimental approach", PhD Thesis in Technology of Architecture, Politecnico di Milano. Available at: https://hdl.handle.net/10589/166633.

Ouagne, P., Soulat, D., Evon, P., Renouard, S., Ferreira, M., Labonne, L., Labanieh, A.R., Laine, E. and De Luycker, E. (2020), "Use of bast fibres including flax fibres for high challenge technical textile applications. Extraction, preparation and requirements for the manufacturing of composite reinforcement fabrics and for geotextiles", in Kozłowski, R.M. and Mackiewicz-Talarczyk, M. (Eds.), *Handbook of Natural Fibres. Volume 2: Processing and Applications*, Woodhead Publishing, pp. 169-204. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818782-1.00005-5.

Pérez, M., Guo, Y. and Knippers, J. (2022), "Integrative material and structural design methods for natural fibres filament-wound composite structures: The LivMatS pavilion", *Mater. Des.*, Vol. 217, 110624. Available at: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110624.

Registro aziende (2024), "Elenco aziende con fatturato per il codice ATECO 13.95 & 13.96.2". Available at: https://registroaziende.it/ricerca-ateco (Accessed on 06/09/2024).

Reyneri, A., Abbate, V., Casa, R., Cavallero, A., Copani, V., Davì, A., De Mastro, G., Fila, G., Fontana, F., Furnari, G., Lombardo, V., Losavio, N., Marras, G., Marzi, V., Rondi, G., Rossini, F., Scarpa, G. and Ventrella, D. (2001) "Produzione, qualità e analisi della filiera produttiva del lino da fibra in Italia", *Rivista di agronomia*, Vol. 35 (4), pp. 230-239. Available at: https://www.researchgate.net/publication/43784601_Produzione_qualita_e_analisi_della_filiera_produttiva_del_lino_da_fibra_in_Italia (Accessed on 28/11/2024).

Sadik, S.A. (2019), "Production of Nettle (Urtica dioica), environmental and economic valuation in conventional farming". Master Thesis in Agricultural Economics, University of Helsinki. Available at: http://hdl.handle.net/10138/306173 (Accessed on 28/11/2024).

Stolarski, M. J., Krzyżaniak, M., Kwiatkowski, J., Tworkowski, J. and Szczukowski, S. (2018), "Energy and economic efficiency of camelina and crambe biomass production on a large-scale farm in north-eastern Poland", *Energy*, Vol. 150, pp. 770-780. Available at: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.021.

Zanelli, A., Monticelli, C. and Viscuso, S. (2020), "Closing the Loops in Textile Architecture: Innovative Strategies and Limits of Introducing Biopolymers in Membrane Structures", in Della Torre, S., Cattaneo, S., Lenzi, C. and Zanelli, A. (Eds.), *Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective*, Springer, pp. 263-76. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33256-3_25.

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT
This study was carried out within the MICS (Made in Italy – Circular and Sustainable) Extended Partnership and received funding from the European Union Next-GenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.3 – D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004). This manuscript reflects only the authors' views and opinions, neither the European Union nor the European Commission can be considered responsible for them.

Materiali tessili e strategie di riqualificazione. Nuove frontiere per l'efficienza energetica

Just Accepted: December 20, 2024 **Published:** July 25, 2025

Giulia Procaccini, https://orcid.org/0000-0001-5846-3022 giulia.procaccini@polimi.it
Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

Abstract. I materiali tessili, grazie alle loro proprietà intrinseche, svolgono da sempre un ruolo fondamentale nel settore edilizio. Data l'urgente necessità di rinnovare il patrimonio edilizio europeo, il loro uso innovativo in soluzioni di riqualificazione di facciata emerge come una strategia promettente. Il presente lavoro illustra i risultati della ricerca di dottorato sulle Strategie di Riqualificazione con Facciate Tessili (TFRS), alternative valide e sostenibili alle metodologie convenzionali, e ne confronta l'impatto ambientale ed energetico. Promuovendo soluzioni leggere, la ricerca si allinea agli obiettivi di decarbonizzazione, riducendo significativamente l'impatto ambientale ed energetico associato ai metodi di riqualificazione e migliorando la resilienza e l'adattabilità delle facciate.

Parole chiave: Riqualificazione di facciata; Materiali tessili; Efficienza energetica; Transizione ecologica; Resilienza edilizia.

La necessità di nuove soluzioni

Il settore edilizio è il principale responsabile dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra dell'UE, contribuendo rispettivamente per circa il 40% e il 36% del totale (Commissione europea). Circa il 35% degli edifici ha più di 50 anni e quasi il 70% di essi soffre di inefficienza energetica, nonostante solamente l'1% venga annualmente riqualificato. Data la previsione che l'85-90% degli edifici attuali rimarrà in uso oltre il 2050, ne consegue la necessità di misure decisive per raggiungere la neutralità climatica entro quella data. Infatti, benché la riqualificazione edilizia presenti numerosi vantaggi in termini di riduzione di tempi e sprechi e di estensione della durata di vita dei componenti, i costi elevati, la lunga durata e i conseguenti fastidi per gli abitanti spesso scoraggiano costruttori, inquilini e residenti dall'intraprendere tali processi.

Il concetto di riqualificazione si basa sulla necessità di ridurre l'impatto degli edifici sull'ambiente e di migliorarne la salubrità per gli occupanti (Martinez *et al*., 2015). Le facciate, responsabili del 20-30% del consumo energetico totale di un edificio (Dall'O, 2012), rappresentano un elemento critico di intervento. I processi di riqualificazione possono essere classificati in tre tipologie: (i) miglioramento dell'isolamento termico, (ii) risoluzione del surriscaldamento delle facciate in vetro dovuto all'elevata trasparenza e (iii) aggiornamento dei sistemi di facciata obsoleti che non soddisfano più gli standard moderni.

Sulla spinta di nuovi incentivi per pratiche sostenibili volte a riciclare il patrimonio edilizio e a ridurre i rifiuti da demolizione, l'impiego di questi processi è aumentato negli ultimi anni. In risposta a questi sviluppi, l'attuale ricerca, condotta nell'ambito di un progetto collaborativo tra Politecnico di Milano, KU Leuven e l'associazione TensiNet, esplora soluzioni innovative di riqualificazione di facciata attraverso l'uso sostenibile di materiali tessili. Questi materiali, ampiamenti utilizzati in architettura, meritano ulteriori approfondimenti grazie alle loro caratteristiche di leggerezza, sottigliezza e flessibilità (Beccarelli *et al*, 2013), che contribuiscono a ridurne l'impatto ambientale (Monticelli *et al*., 2013). Inoltre, le loro qualità estetiche, la translucenza e la capacità di controllare l'illuminazione e la luce solare li rendono particolarmente interessanti (Monticelli, 2015). Scelti per la loro adattabilità ad applicazioni sia temporanee che permanenti, offrono soluzioni promettenti in scenari di riqualificazione di facciata.

Lo studio mira, dunque, a sviluppare tecniche rapide, economiche e poco invasive che migliorino l'efficienza energetica e la sostenibilità degli edifici. Concentrandosi sull'uso di materiali leggeri e flessibili, questa ricerca intende fornire nuovi metodi che integrino gli attuali approcci di riqualificazione di facciata.

Textile materials and retrofit strategies. New frontiers for energy efficiency

Abstract. Membranes have always played an essential role within the construction sector as a result of their intrinsic properties. Nowadays, with the urgent need to renovate the European building stock, the innovative use of these materials in façade retrofit solutions emerges as a promising strategy to increase the renovation rate. This paper outlines the results of a PhD research that explores Textile Façade Retrofit Strategies (TFRS) as viable, sustainable alternatives to traditional façade retrofits, comparing their environmental and energy impacts. By promoting lightweight solutions, the research aligns with the goals of decarbonisation by significantly reducing the environmental and energy impacts associated with retrofit methods, and enhancing the resilience and adaptability of urban façades.

Keywords: Façade retrofit; Textile membranes; Energy efficiency; Ecological transition; Construction resilience.

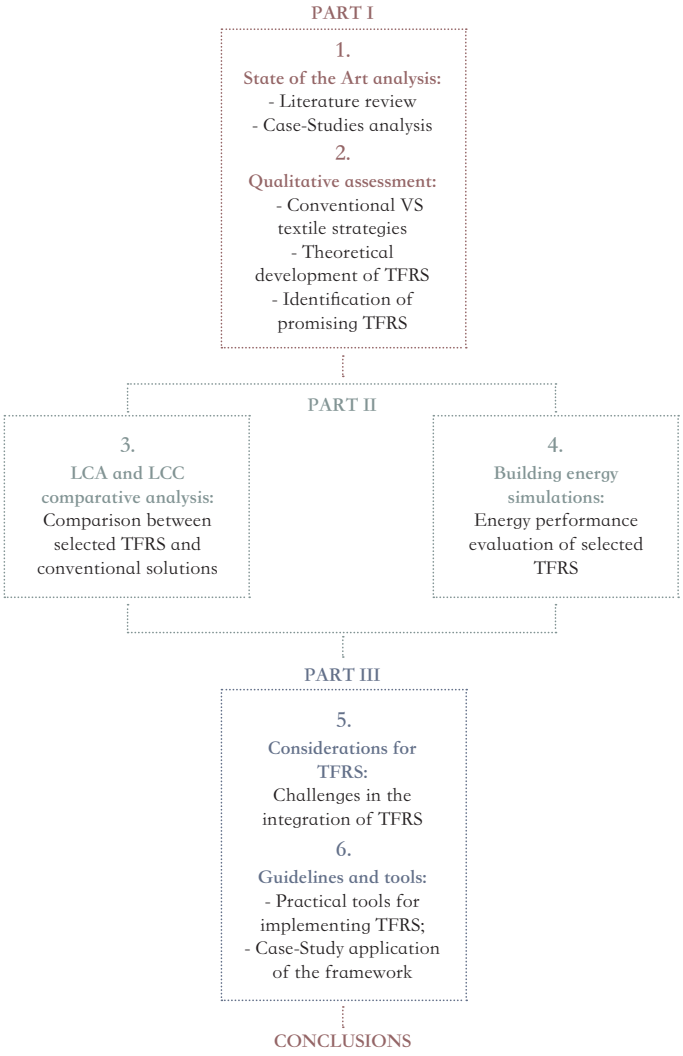
The need for new solutions

Currently, buildings account for around 40% of EU energy consumption and 36% of greenhouse gas emissions, making them the major energy consumers in Europe (European Commission). Approximately 35% of these buildings are over 50 years old, with nearly 70% of them featuring energy inefficiency. Yet, only around 1% of these structures undergo renovation annually. Given the projected 85-90% of current buildings expected to remain in use by 2050, it is imperative to take decisive measures to achieve climate neutrality in Europe by that time. Despite the benefits of renovation in reducing time, waste, and extending component lifespan, the high costs, long durations, and disruptions often deter builders, tenants, and residents from undertaking such projects.

The concept of building retrofit sets its foundation on the imperative to reduce the detrimental impact of buildings on the environment and enhance their healthiness for occupants (Martinez *et al.,* 2015). The façade of a building, responsible for 20-30% of its total energy consumption (Dall'O, 2012), stands out as a critical element for intervention. Façade renovations can be broadly categorised into three types: (i) enhancements to thermal insulation in older buildings, (ì) solutions for overheating issues in glass façades due to high transparency, and (iii) updates to outdated façade systems that no longer meet modern standards.

In recent years, the adoption of renovation strategies has expanded, driven by new incentives for sustainable practices aimed at upcycling building stock and minimising demolition waste. In response to these developments, the

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16600



L'obiettivo finale è quello di contribuire a trasformare il patrimonio edilizio in un ambiente più sostenibile e resiliente, in linea con gli attuali obiettivi ambientali e di efficienza energetica dell'UE.

Quadro teorico e metodologia

Al fine di delineare in maniera efficace nuove strategie per la riqualificazione di facciata, il lavoro di ricerca collaborativa, combinando competenze accademiche e professionali, si è strutturato in tre fasi (Fig. 1), approfondendo progressivamente le potenzialità, gli impatti e l'applicazione delle TFRS. Attraverso questa struttura, le TFRS sono state valutate complessivamente, dall'esplorazione teorica alla validazione empirica, fino all'applicazione pratica.
La prima fase della ricerca è stata dedicata alla definizione di un quadro teorico completo, ottenuto attraverso un'ampia analisi dello stato dell'arte che ha incluso un'approfondita revisione della letteratura e l'esame di casi studio rilevanti. Questa fase è stata fondamentale per articolare l'ambito della ricerca e facilitare un'analisi comparativa dettagliata tra le strategie convenzionali di riqualificazione di facciata e l'applicazione innovativa di materiali tessili. Gli approfondimenti raccolti durante questa fase hanno costituito la base teorica necessaria per lo sviluppo e la comprensione delle TFRS.
Successivamente, nella fase di valutazione empirica, le TFRS promettenti sono stati sottoposte ad analisi comparative attraverso valutazione del ciclo di vita (LCA) e del costo del ciclo di vita (LCC). Inoltre, sono state condotte simulazioni energetiche per misurare l'efficacia di queste strategie in termini di conservazione e modulazione dell'energia. Questa indagine empirica è stata indispensabile per quantificare l'impatto delle TFRS, validando così, attraverso dati numerici, i loro benefici ambientali. La fase finale si è infine concentrata sullo sviluppo di un quadro

current research was carried out as part of a collaborative project between Politecnico di Milano, KU Leuven and TensiNet Association, with the aim of exploring innovative façade redevelopment solutions through the use of textile materials and their environmental impact. Membranes, already variously employed in architecture, are worthy of investigation, among others, thanks to their lightness, thinness and flexibility (Beccarelli *et al*, 2013), which reduce the environmental impact (Monticelli *et al.*, 2013). Additionally, their aesthetic qualities, translucency, and ability to control sunlight and light make them particularly appealing (Monticelli, 2015). Their use, chosen also for their adaptability to both temporary and permanent applications, offers promising solutions to the prevalent challenges faced in façade retrofitting. The study aims to develop fast, cost-effective, and minimally invasive techniques that enhance building energy efficiency and sustainability. By focusing on lightweight and flexible membranes, this research intends to provide new methods that complement the current approaches to façade renovation. The ultimate goal is to help transform the European building stock into a more sustainable and climate-resilient environment, in line with EU environmental and energy efficiency objectives.

Theoretical framework and methodology

To effectively investigate innovative façade retrofit strategies, the collaborative research combined academic and professional expertise, structuring the research work into three phases (Fig. 1), each of which progressively delves into the potential, impacts and application of Textile Façade Retrofit Strategies (TFRS). Through this structured and phased methodology, the research ensured that TFRS were evaluated comprehensively, from theoretical exploration through empirical validation to practical application.
The initial phase of the research was dedicated to establishing a comprehensive theoretical framework. This was achieved through an extensive State-of-the-Art analysis, which included a thorough Literature Review and the examination of relevant Case Studies. This stage was crucial for articulating the research scope and facilitating a detailed comparative analysis between conventional façade retrofit strategies and the innovative application of textiles. The insights gathered during this phase set the foundational theoretical groundwork necessary for the development and understanding of TFRS.
Following the theoretical exploration, the research transitioned into an empirical evaluation phase. In this stage, promising TFRS were subjected to comparative analyses using Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Costing (LCC). Additionally, building energy simulations were employed to measure the effectiveness of these strategies in terms of energy conservation and modulation. This empirical inquiry was imperative for quantifying the performance impacts of TFRS, thus providing robust data to support the validation of their environmental benefits.
The final phase of the methodology focused on developing a structured Framework to implement TFRS into building façade retrofit practices. This phase aimed to tackle the main challenges associated with their integration into renovation processes, creating

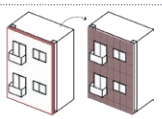
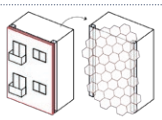
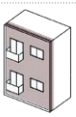
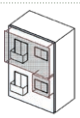
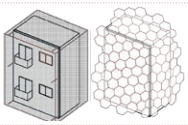
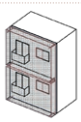
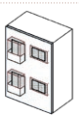
Tab. 01 | Strategie di Riqualificazione con Facciate Tessili (TFRS)
Textile Façade Retrofit Strategies (TFRS)

strutturato per implementare le TFRS nelle pratiche di riqualificazione di facciata. Mirando ad affrontare le principali sfide associate alla loro integrazione nei processi di ristrutturazione, sono state delineate linee guida e strumenti pratici per un'implementazione efficace. Il quadro risultante non solo combina le intuizioni degli studi teorici ed empirici, ma fornisce anche strategie attuabili per migliorare la resilienza e l'adattabilità delle facciate, facendo progredire in modo significativo lo sviluppo urbano sostenibile.

Identificazione delle strategie

Una valutazione completa è stata essenziale per poter definire e classificare le applicazioni tessili in facciata e sviluppare le TFRS. Ciò ha comportato un esame approfondito delle proprietà dei tessuti, delle loro applicazioni specifiche in facciata e una revisione delle strategie di riqualificazione esistenti, al fine di comprendere il panorama della riqualificazione di facciata e identificare le opportunità di innovazione.

Come dettagliato nel resoconto completo di Procaccini G. *et al.* (2021), che fornisce una documentazione approfondita dello stato dell'arte e una dettagliata analisi qualitativa, un'approfondita revisione della letteratura unita all'analisi di 59 casi studio – ognuno dei quali prevedeva l'uso del tessile in facciata con varie applicazioni – ha portato all'identificazione di nove differenti TFRS (Tab. 1), classificate in base ai loro principali metodi di applicazione: *Replace*, *Addition*, *Wrap it*. Questa classificazione, basata sulla categorizzazione delle metodologie di riqualificazione di facciata sviluppata da Konstantinou (2014) nella sua tesi di dottorato, ha fornito un approccio strutturato per comprendere come integrare le TFRS in diversi progetti di riqualificazione di facciata a seconda delle esigenze e dei vincoli specifici dell'edificio.
Dall'analisi qualitativa iniziale, quattro strategie (*Covering, Wrapping, Double Skin ed Enclosing*) sono emerse come particolarmente promettenti per i loro potenziali benefici, riducendo efficacemente il carico strutturale aggiuntivo, minimizzando il disagio degli occupanti durante l'installazione e migliorando l'efficienza energetica della facciata attraverso la riduzione dei

	Retrofit Strategy: Replace		Retrofit Strategy: Addition			Retrofit Strategy: Wrap it			
	Tensioned Membrane	Cushions	Finishing	Adding	Covering	Wrapping	Double Skin	Enclosing	Nesting
									
Strategy	Replacement of the entire façade	Replacement of the entire façade	Replacement of the finishing	Addition from the interior	Addition from the exterior	Wrapping of the entire building	Wrapping of the façade	Wrapping of the components	Addition from the interior
Application plane	In line	In line	In line	In line	Additional layer	Additional layer	Additional layer	Additional layer	Additional layer
Application	Replacement of the entire façade with sandwich panels.	Replacement of the entire façade with pneumatic cushions.	Addition of exterior insulation and finishing system.	Addition of an internal textile layer	(Partial) covering of the façade with textile membrane	Total covering of the building with textile membrane or pneumatic cushions.	Façade covering with textile membrane	Façade elements covering with textile membrane.	Addition of an internal textile structure
Retrofitting measure	Walls: Membrane: textile ± insulation ± OBS	Walls and Windows: Pneumatic cushions - Replacing / Enclosing windows	Walls and Balconies: Exterior Insulation and Finishing System	Walls: Textile Layer: air gap + textile finishing	Walls, Balconies and Windows: Screen OR Sun-shading	Walls and Balconies: Second Skin / Buffer zone Windows: (En)closing windows OR Sun-shading	Walls and Balconies: Second Skin / Buffer zone Windows: Double casing OR Sun-shading	Balconies: Integrated Balcony Additional Space Windows: Sun-shading	Walls: Structure into structure (nest) Second interior skin
Material	Textile Membrane ± Insulation ± OBS	Pneumatic cushions - Multiple layers	Textile Membrane + Insulation	Air gap + Textile Finishing	Textile Membrane	Textile Membrane + Insulation OR Pneumatic cushions	Textile Membrane + Insulation OR Pneumatic cushions	Textile Membrane ± Insulation	Textile Membrane ± Insulation
Operation	Heat protection: increased thermal resistance and air-tightness	Heat protection; Passive solar heating	Heat protection: increased thermal resistance and air-tightness	Increased thermal resistance; New interior finishing; Detached from the existing	Improved acoustic performances; Sun-shading; Backlit or advertising surface	Heat protection; Thermal buffer unheated zone or ventilated façade; Create extra usable space; Sun-shading	Heat protection; Thermal buffer unheated zone or ventilated façade; Sun-shading	Thermal buffer unheated zone; Create extra usable space; Sun-shading;	Increased thermal resistance; Interior bubble space; Detached from the existing
Limitations	Façade replacement; Disturbance for occupants; Prefabrication requires detailed survey; Cost	Façade replacement; Disturbance for occupants; Extra structure (and space) required; Cost	Finishing replacement; Thermal bridging of the fixing; Water leakage risks	Lack of interior spaces; No thermal insulation	No thermal insulation; Opening for the shading; Overheating risk	Lack of exterior spaces; Overheating risk; Adequate ventilation needed; Extra structure (and space) required; Cost	Lack of exterior spaces; Extra structure (and space) required; Cost	Overheating risk; Opening for the shading;	Lack of interior spaces; Adequate ventilation needed; Cost
Variations	Different layers and finishing; Different insulation types and thicknesses	Different layers and transparency; Different insulation types and thicknesses	Different insulation types and finishing	Different finishings	Different layers and transparency; Different types and design of covering / shading elements	Different types and design of transparent and opaque elements	Different types and design of transparent and opaque elements	Different layers and transparency; Different types and design of covering elements	Different types and design of elements; Different insulation types and thicknesses

guadagni di luce naturale o la definizione di una zona termica tra l'ambiente interno e quello esterno.
In particolare:
– La strategia *Covering* riduce il guadagno di calore attraverso le finestre e le pareti attraverso la presenza di uno schermo esterno aggiuntivo, diminuendo di fatto la necessità di climatizzazione e riducendo così i costi energetici;
– *Wrapping* e *Double Skin* prevedono l'aggiunta di uno strato esterno alla facciata esistente, formando una zona termica che aiuta a mantenere un clima interno più stabile, riducendo l'energia necessaria per il riscaldamento e il raffreddamento;
– *Enclosing* incapsula alcuni elementi di facciata esistente migliorandone l'isolamento termico.

Validazione delle strategie Per validare i benefici e gli impatti ambientali delle TFRS identificate, sono state condotte analisi LCA e LCC, volte a confrontare l'efficacia e l'efficienza dei costi delle TFRS rispetto a metodi di riqualificazione tradizionali. Per quantificare ulteriormente i vantaggi offerti da queste strategie, sono state eseguite simulazioni energetiche di facciata. Questo processo di validazione è stato essenziale per garantire che le TFRS potessero essere efficacemente implementate in contesti reali, fornendo miglioramenti tangibili nell'efficienza energetica e nel comfort degli occupanti, e allineandosi ai principi di sostenibilità richiesti.

Validazione delle strategie – Analisi LCA e LCC
Le analisi LCA e LCC sono state condotte avvalendosi del software OneClickLCA. Quattro edifici esistenti realizzati con facciate tessili sono stati utilizzati come casi studio, e analizzati rispetto a design alternativi, adattati in base alle caratteristiche del progetto. La tabella 2 illustra i progetti selezionati, le alternative progettuali, le motivazioni alla base della scelta di queste alternative e le specifiche strategie tessili considerate. Ai fini delle analisi, è stato considerato un ciclo di vita delle facciate di 50 anni, così da valutare gli impatti a lungo termine delle soluzioni durevoli rispetto a quelli dei materiali tessili che richiedono la sostituzione periodica del rivestimento.
I risultati di queste analisi (Fig. 2) hanno evidenziato diversi aspetti degni di nota:
– le strategie che prevedevano una sottostruttura più pesante (1c, 3a, 3b) mostrano metriche peggiorative;
– i progetti che utilizzano una percentuale maggiore di materiali plastici (1b) risultano tra i più impattanti a causa del significativo impatto dovuto sia alla produzione del materiale sia al suo trattamento dei rifiuti;
– sebbene la necessità di sostituire periodicamente i materiali tessili sia comune alla maggior parte delle TFRS (ad eccezione della strategia 3a), questi impatti sono generalmente minimi e non incidono significativamente sulla sostenibilità complessiva delle soluzioni;
– nonostante la conferma delle intuizioni di Monticelli *et al.* (2017) e l'allineamento dei risultati con il principio 2, non si riscontra una relazione coerente tra la riduzione del peso e la diminuzione del potenziale di riscaldamento globale (GWP): questa variabilità dipende in larga misura dai materiali specifici utilizzati nella produzione. Infatti, nonostante i buoni risultati, i tessuti non sempre offrono un vantaggio competitivo rispetto a materiali tradiziona-

practical guidelines and tools for effective implementation. The resulting framework not only combines insights from theoretical and empirical studies but also provides actionable strategies to improve the resilience and adaptability of building façades, significantly advancing sustainable urban development.

Identification of the strategies
A comprehensive evaluation was essential to define and categorise textile applications on façades and to develop TFRS. This included a thorough examination of textile properties, their specific façade applications, and a review of existing retrofit strategies. This phase was vital for understanding the façade retrofit landscape and identifying opportunities for innovation.
As per the comprehensive report by Procaccini G. *et al.* (2021), which provides an in-depth documentation of the State of the Art and a detailed Qualitative Analysis, a thorough literature review combined with the examination of 59 case studies – each involving the use of textiles in façades for various applications – resulted in the identification of nine distinct TFRS (Tab. 1).
In accordance with the façade retrofit categorisation developed by Konstantinou T. (2014) in her PhD thesis, these strategies were methodically classified based on their primary methods of application, precisely replacement, addition, and wrapping. This classification provided a structured approach to understanding how textiles can be integrated into different types of façade retrofit projects, depending on the specific needs and constraints of the building.
From the initial qualitative analysis, four strategies (Covering, Wrapping, Double Skin, and Enclosing) emerged as particularly innovative due to their potential benefits. Each strategy effectively reduces additional structural load, minimises occupant disruption during installation, and enhances façade energy efficiency by either reducing daylight gains or creating a thermal buffer zone between the interior and exterior environments.
Specifically:
– Covering focuses on adding an external layer that reduces heat gain through windows and walls, effectively decreasing the need for air conditioning and, thereby, reducing energy costs;
– Wrapping and Double Skin involve creating an additional layer outside the existing façade, forming a thermal buffer zone that helps to maintain a stable interior climate, reducing the energy required for heating and cooling;
– Enclosing encapsulates some existing façade components, thus improving their thermal insulation.

Validation of the strategies
To validate the benefits and environmental impacts of the identified TFRS, comprehensive LCA and LCC analyses were conducted, aimed at comparing the effectiveness and cost-efficiency of TFRS against traditional retrofit methods. Additionally, detailed building energy simulations were also performed to further quantify the energy advantages offered by these strategies. This thorough validation process was essential to ensure that TFRS could be effectively implemented in real world settings, providing tangible improvements in energy efficiency and occupant comfort, while aligning with the required sustainable principles.

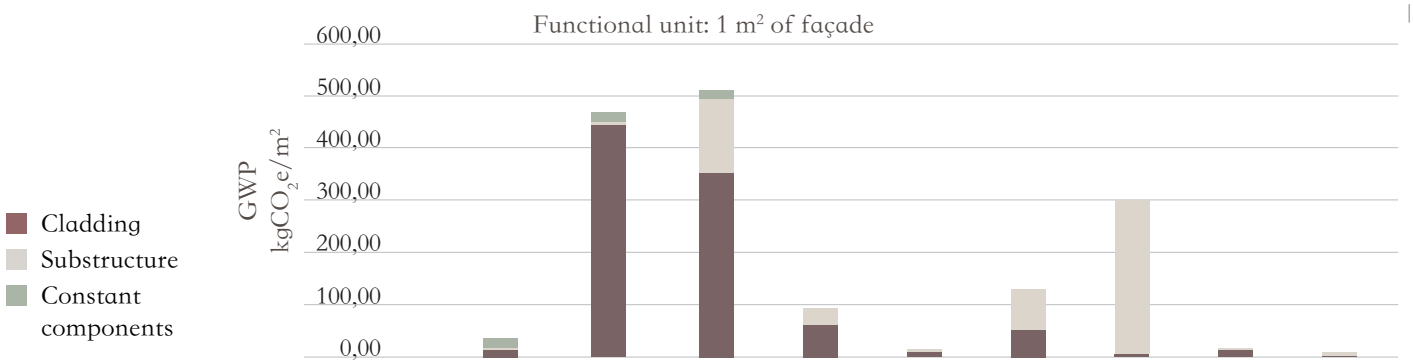
Tab. 02 | Casi-Studio e alternative progettuali per le analisi LCA and LCC
Detail of LCA and LCC Case-Studies and their alternative design

02 | Risultati delle analisi LCA and LCC: Confronto tra le categorie di impatto del rivestimento (finitura + sistema di fissaggio)
LCA and LCC analyses results: Impact category comparison of the cladding (finishing + fixing system)

| Tab. 02

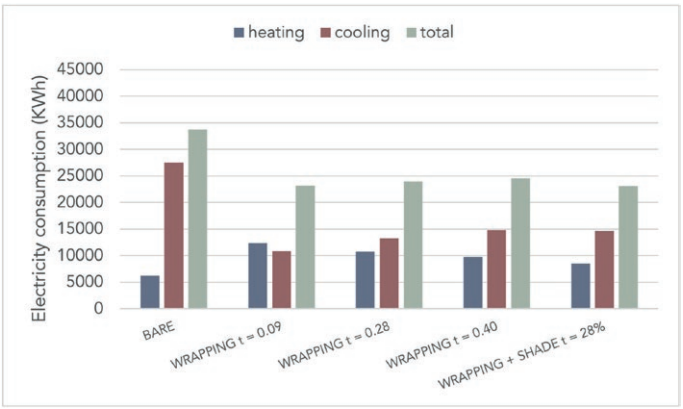
Code	Name of the project	Textile Façade Retrofit Strategy	Textile material	Alternative design	Reason
1a	Iperal shopping mall - Adamello	Covering	Pretended PES-PVC membrane	1b: polycarbonate panels 1c: aluminum perforated panels	Translucent effect
2a	King Fahad National Library	Sun-shading	PTFE Panels	2a: terracotta panels	Local sourced material
3a	ETFE Unilever headquarter façade	Double Skin	ETFE Panels	3a: spiderglass façade	Transparency
4a	iGuzzini Iberica headquarter	Wrapping	PES-PVC tensioned membrane	4a: metal mesh cladding	Wrapping capacity

| 02



IMPACT CATEGORY	UNIT	1a	1b	1c	2a	2b	3a	3b	4a	4b
Global Warming Potential	kg/CO_2e	**35,9**	464,3	508,5	93,00	**15,01**	**127,46**	300,28	17,21	**8,39**
Ozone depletion	g/CFC11e	15,45	15,45	**15,44**	0,00	0,00	1,61	**0,30**	0,00	0,00
Acidification	kg/SO_2e	**0,13**	0,42	2,85	0,36	**0,05**	**0,46**	1,29	0,08	**0,04**
Eutrophication	kg/PO_4e	**0,04**	0,10	0,70	0,02	**0,01**	**0,16**	0,60	0,05	**0,01**
Weight	kg/m²	6,00	48,52	11,72	11,84	22,65	55,11	218,16	1,32	4,25
Cost	€/m²	**247,39**	287,08	567,08	128,10	**4,29**	271,95	**221,72**	73,63	**72,39**

Validation of the strategies – LCA and LCC analyses
To assess the environmental and cost implications of the promising TFRS, comprehensive LCA and LCC analyses were conducted using the software OneClickLCA. Four existing buildings outfitted with textile façades served as case studies. These were analysed in comparison to alternative designs that were specifically tailored based on project characteristics. Table 2 details the selected projects, the alternative designs, the rationale behind choosing these alternatives, and the specific TFRS considered. Each analysis spanned a life cycle of 50 years to evaluate the long-term impacts of durable solutions against those of textile materials, which might require periodic replacement of the cladding.
The findings of these analyses, summarised in (Fig. 2), highlighted several noteworthy insights:
– strategies that involved a heavier substructure (1c, 3a, 3b) displayed poorer performance metrics;
– designs that used a higher percentage of plastic materials (1b) ranked among the least effective due to the significant environmental toll of both material production and waste treatment;
– while the need for periodic replacement of textile materials was common across most TFRS (except for strategy 3a), these impacts were generally minimal and did not significantly affect the overall sustainability of the solutions;



li come i pannelli di terracotta o a materiali riciclati come l'alluminio;
– infine, contrariamente alla percezione comune, dal punto di vista economico queste TFRS rappresentano alternative valide ai metodi di riqualificazione convenzionali, offrendo un'opzione finanziariamente sostenibile per la riqualificazione di facciata.

Questi risultati forniscono una comprensione dell'efficacia e della fattibilità delle TFRS, evidenziandone i potenziali vantaggi e limiti nel contesto delle pratiche edilizie sostenibili.

Validazione delle strategie – Simulazioni energetiche dell'edificio
L'applicazione delle TFRS sulle facciate esistenti è stata analizzata in termini di prestazioni energetiche attraverso simulazioni con il software EnergyPlus. Per valutare l'efficacia di varie configurazioni, come caso studio è stato scelto un edificio esistente che presenta un rivestimento tessile. L'analisi ha messo a confronto tre scenari edilizi: l'edificio 'nudo' senza alcuna schermatura, l'edificio avvolto interamente da un rivestimento tessile e un'ultima configurazione in cui l'edificio risulta avvolto dal rivestimento tessile ad eccezione delle finestre, dove puntuali schermature sono state applicate come tenda tessile esterna.
Inoltre, le simulazioni hanno confrontato diverse proprietà di trasmittanza della pelle tessile (t = 0,09, t = 0,28 e t = 0,40). La figura 3 illustra i risultati comparativi in termini di kWh/m^2. L'analisi ha rivelato che l'installazione di uno schermo tessile davanti alla facciata tende ad aumentare le richieste di riscaldamento invernale a causa della riduzione dei guadagni di luce diurna, ma riduce significativamente le richieste di raffrescamento estivo limitando il guadagno di calore solare. In una valutazione annuale completa effettuata a Milano (Italia), l'impatto netto è risultato positivo, in particolare per la prevalenza del fabbisogno di raffreddamento rispetto a quello di riscaldamento.
Inoltre, all'aumentare della trasmittanza della pelle esterna, è visibile un miglioramento della domanda di riscaldamento e una diminuzione della domanda di raffreddamento. La soluzione "involucro + schermatura" (*wrapping + shade*), caratterizzata da uno schermo mobile, si adatta in modo ottimale ai cambiamenti stagionali aumentando l'ingresso della luce diurna in inverno e riducendolo in estate, migliorando così l'efficienza energetica complessiva.
Tuttavia, i risultati di queste simulazioni possono variare in base a diversi fattori, tra cui la posizione specifica, la configurazione e l'orientamento dell'edificio, il rapporto finestre/pareti e la stratigrafia delle pareti. Questa variabilità sottolinea l'importanza di adattare le applicazioni TFRS alle caratteristiche di ogni edificio per massimizzare il risparmio energetico e le prestazioni complessive.

Un quadro di riferimento per l'attuazione delle TFRS

La ricerca si è concentrata non solo sulla definizione di TFRS innovative, ma anche sulla definizione di un quadro completo per la loro attuazione pratica.

– despite confirming insights from Monticelli *et al.* (2017) and aligning with principle 2, there was not a consistent relationship between reduced weight and lower Global Warming Potential (GWP). This variability largely depends on the specific materials used in production. Indeed, while textiles generally performed well, they did not always offer a competitive edge over traditional materials like terracotta panels or recycled materials such as aluminium components;
– lastly, contrary to common perceptions, from an economic standpoint, these TFRS represent viable alternatives to conventional retrofit methods, and their cost impacts are competitive, offering a financially sustainable option for façade renovation.

These results provide a nuanced understanding of the efficacy and viability of TFRS, highlighting both their potential advantages and limitations in the context of sustainable building practices.

Validation of the strategies – Building energy simulations
The energy performance of the application of TFRS over existing façades was thoroughly examined through simulations using the software EnergyPlus. An existing building showcasing a textile cladding was selected as a case study to evaluate the efficacy of various configurations. The analysis compared three building scenarios, precisely, a "bare" building without any shading, a "wrapped" building entirely enveloped by a textile cladding, and a "wrapping + shade" configuration that uses the textile both as a tensioned static element at certain opaque points on the façade and as an external textile curtain for the building's windows.
Additionally, the simulations tested the wrapping configuration with varying transmittance properties of the textile skin, set at t = 0.09, t = 0.28, and t = 0.40. Figure 3 illustrates the comparative results in terms of kWh/m^2. The data revealed that installing a textile screen in front of the façade tends to increase winter heating demands due to reduced daylight gains, yet it significantly lowers summer cooling requirements by limiting solar heat gain. In a comprehensive annual evaluation set in Milan, Italy, the net impact was found to be beneficial, particularly due to the dominant cooling needs over the heating requirements.
Furthermore, as the transmittance of the skin increases, the simulations show an improvement in heating demands and a decrease in cooling demands. The "wrapping + shade" solution, featuring a movable screen, optimally adjusts to seasonal changes by allowing daylight gains during the winter and blocking them in the summer, thereby enhancing overall energy efficiency.
However, it is crucial to note that the outcomes of such simulations can vary depending on several factors including the specific location, wall configuration, building orientation, window-to-wall ratio, and wall stratigraphy. This variability underscores the importance of tailoring TFRS applications to the unique characteristics of each building to maximise energy savings and overall performance.

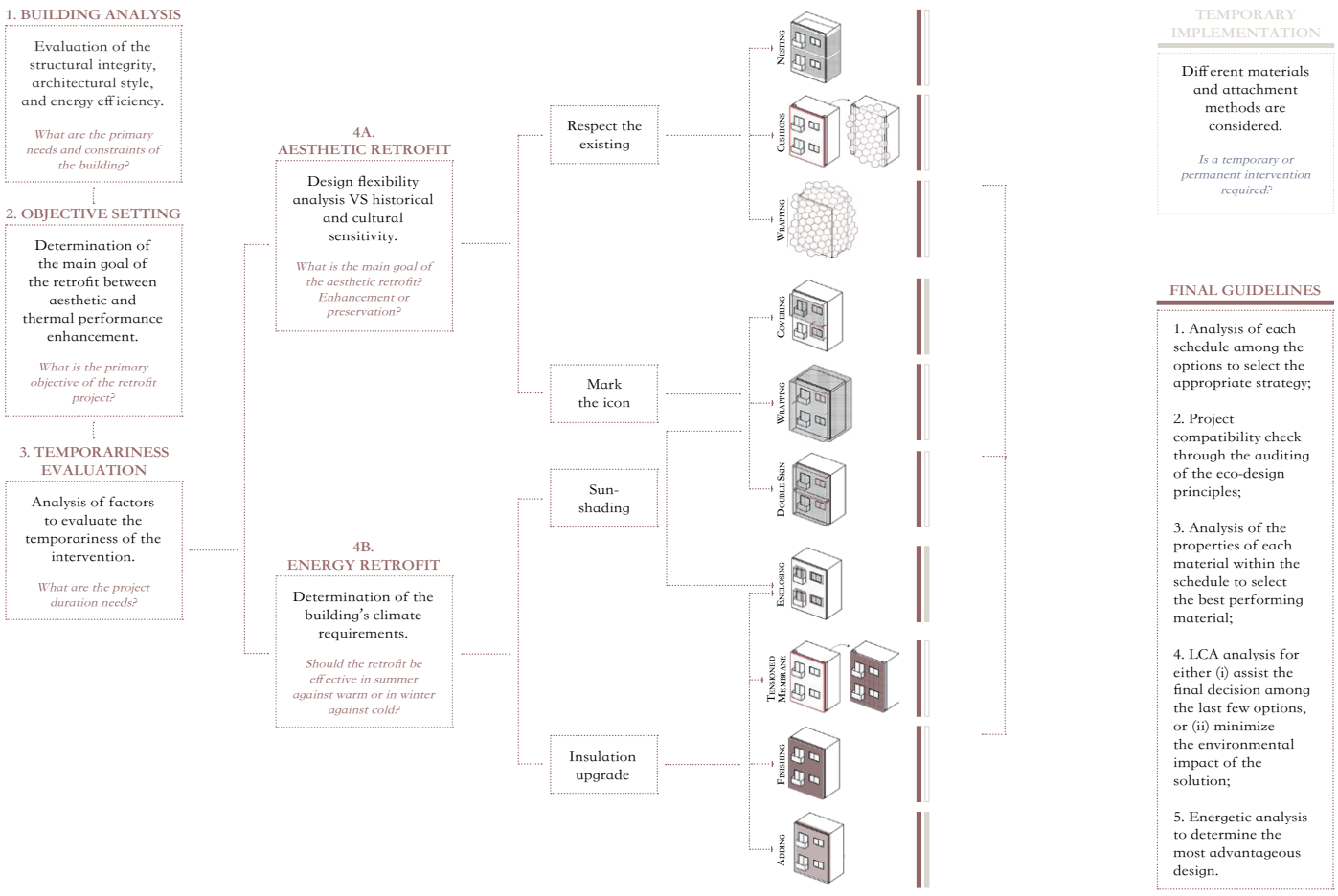
A framework for the implementation of TFRS
This research not only focused on defining innovative TFRS but also on establishing a comprehensive framework for their practical implementation.

04 | Diagramma di flusso per le TFRS
TFRS flowchart

L'analisi iniziale dello stato dell'arte ha rivelato un approccio frammentario all'utilizzo dei tessuti in applicazioni di facciata, caratterizzato dall'assenza di un obiettivo chiaro e di una profonda comprensione delle complessità coinvolte e dei potenziali benefici, sottolineando la necessità di un quadro di attuazione strutturato che potesse guidare verso un uso delle TFRS in modo più coerente e orientato agli obiettivi.
A tal fine sono state sviluppate delle linee guida generali (Procaccini and Monticelli, 2024), che dimostrano il potenziale di queste strategie nel contribuire in modo significativo alla decarbonizzazione dell'ambiente costruito. Queste linee guida sottolineano anche l'importanza che i produttori forniscano chiare dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) per sostenere l'adozione di pratiche sostenibili.
Per aiutare ulteriormente i professionisti e gli attori coinvolti nell'uso di queste strategie e garantire un approccio sistematico, è stato progettato un diagramma di flusso (Fig. 4) che possa guidare attraverso i passi necessari alla pianificazione di un'adeguata riqualificazione di facciata, aiutando a scegliere il gruppo di TFRS appropriato per ogni progetto specifico. Inoltre, sono state sviluppate delle specifiche schede per assistere il processo di selezione, fornendo un ulteriore supporto per navigare nella complessità dell'integrazione delle TFRS nei progetti edilizi. Questo approccio strutturato mira a unificare l'applicazione delle soluzioni tessili negli interventi di riqualificazione di facciata, garantendo che la loro implementazione sia strategica e informata da una comprensione completa sia dei loro impatti che vantaggi.

Conclusioni e prospettive future

Questa ricerca ha ampiamente esplorato l'applicazione e il potenziale delle TFRS nel moderno contesto urbano. Attraverso un'analisi approfondita di revisione dello stato dell'arte e analisi del ciclo di vita, dei costi e simulazioni energetiche, lo studio ha identificato e convalidato diverse strategie di riqualificazione innovative che sfruttano



l'uso di materiali tessili per migliorare le prestazioni di facciata. Queste strategie non solo rispondono alla pressante esigenza di efficienza energetica e di riduzione delle emissioni di gas serra, ma offrono anche soluzioni pratiche che possono essere adattate a diversi contesti edilizi.

Lo sviluppo di un quadro strutturato e di linee guida dettagliate, integrate da un pratico diagramma di flusso, fornisce agli attori coinvolti gli strumenti necessari per implementare efficacemente queste strategie. Le linee guida e gli strumenti sviluppati mirano a standardizzare l'applicazione delle TFRS, assicurando che i loro benefici siano massimizzati e che la loro implementazione sia semplificata in diversi progetti.

La ricerca evidenzia il potenziale di trasformazione dei tessili nelle pratiche di riqualificazione di facciata, sottolineando la loro adattabilità e multifunzionalità. Il presente studio ha il potenziale per aumentare il tasso di *retrofit* delle facciate introducendo soluzioni progettuali innovative, adattabili e sostenibili, applicabili principalmente a edifici appartenenti ai settori commerciale e terziario, spesso trascurati. Questa ricerca colma un divario critico tra l'uso contemporaneo e diffuso dei materiali tessili e le loro proprietà uniche, consentendo ad architetti e ingegneri di migliorare l'estetica degli edifici unitamente alla loro efficienza energetica e al loro impatto ambientali. A lungo termine, la ricerca potrebbe catalizzare una più ampia adozione di materiali avanzati (Denz *et al*., 2021), stabilire nuovi standard per le pratiche di riqualificazione e contribuire alla transizione dell'industria verso un ambiente costruito più sostenibile e intelligente.

Nonostante i risultati promettenti, è fondamentale riconoscere i limiti intrinseci di questa ricerca. Lo studio si concentra prevalentemente sugli aspetti tecnici e materiali delle strategie, senza affrontare il comfort degli occupanti, le aspettative degli utenti e la percezione urbana, aspetti fondamentali per il successo dei progetti di riqualificazione, influenzato dall'accettazione e l'esperienza vissuta degli spazi riadattati. Gli sviluppi futuri includeranno analisi sul campo per convalidare i risultati ottenuti e un più ampio coinvolgimento delle parti interessate per esaminare gli impatti socio-economici e ambientali. L'implementazione di campagne sperimentali avrà inoltre lo scopo di raccogliere *feedback* diretti e incorporare valutazioni post-occupazione per fornire una comprensione più sfumata di come questi interventi di riqualificazione influenzino le esperienze quotidiane degli occupanti e la loro soddisfazione complessiva.

Con la continua crescita dei centri urbani e l'aumento della domanda di soluzioni edilizie sostenibili, il ruolo di materiali e tecnologie innovative come quelle esplorate in questo studio diventerà sempre più cruciale. I risultati di questa ricerca contribuiscono in modo significativo allo sviluppo edilizio in un'ottica di sostenibilità ambientale, offrendo percorsi verso la decarbonizzazione dell'ambiente costruito. Colmando il divario tra ricerca teorica e applicazione pratica, questo studio apre la strada a future innovazioni nelle strategie di riqualificazione degli edifici, segnando un significativo passo avanti verso un approccio guidato dallo sviluppo urbano sostenibile.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Questo lavoro, esito di una ricerca di dottorato condotta al Politecnico di Milano, è stato reso possibile grazie al supporto di KU Leuven e TensiNet Association, il cui contributo è stato essenziale per lo sviluppo e la validazione delle strategie innovative esplorate nella ricerca.

The initial state of the art analysis revealed a fragmented approach to using textiles in façade applications, with these varying widely and often lacking a clear objective or a deep understanding of the complexities involved and the potential benefits. This situation underscored the need for a structured implementation framework that could guide the use of TFRS in a more coherent and goal-oriented manner.

To address this, general guidelines were developed, as detailed in Procaccini, G. and Monticelli C. (2024), which demonstrate the potential of these strategies to contribute significantly to the decarbonisation of the built environment. These guidelines also stress the importance of manufacturers providing clear Environmental Product Declarations (EPDs) to support the adoption of sustainable practices.

A detailed flowchart was created (Fig. 4) to further aid professionals and stakeholders in approaching retrofit applications and ensure a systematic approach. This flowchart is designed to guide professionals through the necessary steps when planning a façade retrofit, helping them choose the appropriate group of TFRS tailored to each specific project. Alongside the flowchart, specific schedules have been developed to assist with the selection process, providing additional support in navigating the complexities of integrating TFRS into building projects. This structured approach aims to unify the application of textile solutions in façade retrofits, ensuring that their implementation is both strategic and informed by a comprehensive understanding of their impacts and advantages.

Conclusions and future outlooks

This research has extensively explored the application and potential of Textile Façade Retrofit Strategies (TFRS) within the context of modern urban sustainability. By conducting a thorough analysis that includes a State-of-the-Art review, Life Cycle Assessments, cost analysis, and energy simulations, the study has identified and validated several innovative retrofit strategies that leverage textile technologies to enhance building façades. These strategies not only address the pressing need for energy efficiency and reduced greenhouse gas emissions but also offer practical solutions that can be adapted to diverse building contexts.

The development of a structured framework and detailed guidelines, supplemented by a practical flowchart, provides professionals and stakeholders with the necessary tools to implement these strategies effectively. The guidelines and tools developed through this research aim to standardise the application of TFRS, ensuring that their benefits are maximised and their implementation is streamlined across varied projects.

The research highlights the transformative potential of technical textiles in façade retrofitting, emphasising their adaptability and multifunctionality. It has the potential to increase the façade retrofit rate by introducing innovative, adaptable, and sustainable design solutions, mainly applicable to buildings belonging to the commercial and tertial sectors, which are often disregarded. It bridges a critical gap between the contemporary scattered use of textile materials and their unique properties, enabling architects and engineers to concomitantly enhance building aes-

L'autore dichiara che non esistono conflitti di interesse relativi a questa ricerca.

REFERENCES

Beccarelli, P. and Chilton, J. (2013), "Advantages of lightweight tensioned coated fabrics and foils façades for the building sector", *Structural Membranes, Proceedings of VI International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, Munich, Germany, 9–11 October,* 2013, Universitat Politècnica de Catalunya: Barcelona, Spain, pp. 200-211. Available at: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185431/MEMBRANES_2013-18_Advantages%20of%20lighteight%20tensioned.pdf (Accessed on 21/11/2024)

BPIE (2011), *Europe's Buildings under the Microscope*. Available at: https://www.bpie.eu/publication/europes-buildings-under-the-microscope (Accessed on 02/06/2024).

BPIE (2020), *Renovate Europe. Building Renovation, a Kick Starter for the EU Recovery*. Available at: https://www.renovate-europe.eu/2020/06/10/building-renovation-a-kick-starter-for-the-eu-economy (Accessed on 02/06/2024).

Corrêa, D., Flores-Colen, I., Silvestre, J. D., Pedroso, M. and Santos, R. A. (2020), "Old Buildings' Façades: Fieldwork and Discussion of Thermal Retrofitting Strategies in a Mediterranean Climate". *Designs*, Vol. 4 (45), Available at: https://doi.org/10.3390/designs4040045 (Accessed on 22/10/2022)

Dall'O', G., Galante, A. and Pasetti, G. (2012), "A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks", *Sustainable Cities and Societies*, Vol. 4, pp. 12–21. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.01.004

Denz, P., Sauer, C., Waldhor, E.F., Schneider, M., and Vongsingha, P. (2021), "Smart Textile Sun Shading. Development of Functional ADAPTEX Prototypes". *J. Façade Des. Eng. 2021*, Vol. 9 (1), pp. 101 – 116, Available at: https://doi:10.7480/jfde.2021.1.5539 (Accessed on 26/05/2021)

European Commission (2020), *Energy Efficiency in Buildings*, 17 February. Available at: https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-lut-17_en (Accessed on 02/06/2024).

Konstantinou, T. (2014), "Façade Refurbishment Toolbox. Supporting the Design of Residential Energy Upgrades", PhD Thesis, Faculty of Architecture and the Built Environment, TU Delft, Delft, Netherlands.

Martinez, A., Patterson, M., Carlson, A. and Noble, D. (2015), "Fundamentals in Façade Retrofit Practice", *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*, Procedia Engineering, Vol. 118, pp. 934–941. Available at: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.534 (Accessed on 13/02/2022).

Mendonça, P. (2010), "Low-span lightweight membranes in housing–environmental and structural potentialities", in *Structures and Architecture*, pp. 1–10. Available at: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12084/1/PM_paperCD.pdf (Accessed on 16/01/2021).

Monticelli, C. (2015), "Membrane claddings in architecture", in de Llorens, J.I. (Ed.), *Fabric structures in Architecture*, Elsevier Ltd., Cambridge, pp. 449-479. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-233-4.00014-0 (Accessed on 07/03/2021).

Monticelli, C. and Zanelli, A. (2016), "Life Cycle Design and efficiency principles for membrane architecture: towards a new set of eco-design strategies", *Procedia Engineering*, Vol. 155, pp. 416–425. Available at: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.045 (Accessed on 17/10/2022).

Monticelli, C., Zanelli, A. and Campioli, A. (2013), "Life cycle assessment of textile façades, beyond the current cladding system", *TensiNet Symposium Proceedings*, Istanbul, pp. 467-476. Available at: https://www.researchgate.net/publication/277236712_Life_cycle_assessment_of_textile_facades_beyond_the_current_cladding_systems (Accessed on 18/04/2022).

Monticelli, C., Zanelli, A. and Centrulli, M. (2017), "Application and validation of eco-efficiency principles to assess the design of lightweight structures: case studies of ETFE building skins", in *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2017 "Interfaces: architecture. engineering. science"*, September

thetics, energy efficiency, and environmental performance. In the long term, the research could catalyse broader adoption of advanced materials (Denz *et al*., 2021), set new standards for retrofitting practices, and contribute to the industry's transition toward greener, smarter built environments.

Despite the promising findings, it is crucial to acknowledge the inherent limitations of this research. The study predominantly focuses on technical and material aspects of TFRS, while it does not address broader human dimensions such as occupant comfort, user expectations, and urban perception. These aspects are vital as the success of retrofit projects significantly hinges on user satisfaction and comfort, influencing acceptance and the living experience of retrofitted spaces. Future developments will include field analyses to validate the results obtained, and broader involvement of stakeholders to examine socio-economic and environmental impacts. The implementation of experimental campaigns to gather direct feedback and incorporate Post-Occupancy Evaluations is also planned to provide a more nuanced understanding of how these retrofits affect occupants' daily experiences and overall satisfaction.

As urban centres continue to grow and the demand for sustainable building solutions increases, the role of innovative materials and technologies like those explored in this study will become increasingly crucial. The findings of this research contribute significantly to the field of sustainable architecture, offering pathways toward the decarbonisation of the built environment and the advancement of climate-neutral urban living. By bridging the gap between theoretical research and practical application, this study paves the way for future innovations in building retrofit strategies, marking a significant step forward in our approach to sustainable urban development.

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT

This study, which is the result of doctoral research conducted at the Politecnico di Milano, was carried out thanks to the support of KU Leuven and TensiNet Association, whose contribution was essential for the development and validation of the innovative strategies explored in the research.

The author declares that there are no conflicts of interest related to this research.

25-28, 2017, Hamburg, Germany, Annette Bögle, Manfred Grohmann (Eds.). Available at: https://re.public.polimi.it/retrieve/e0c31c0c-36d7-4599-e053-1705fe0aef77/IASS%202017_ml_10250_1500268214.pdf (Accessed on 16/12/2020).

Paech, C. (2016), "Structural membranes used in modern building façades", *Procedia Engineering*, Vol. 155, pp. 61–70. Available at: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.007 (Accessed on 12/12/2020).

Procaccini, G. and Monticelli, C. (2024), "The application and potentialities of textile façade retrofit strategies for energy-efficient and resilient buildings", *E3S Web of Conferences*, Vol. 546, 03005. Available at: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454603005 (Accessed on 20/09/2024).

Procaccini, G., Prieto, A., Knaack, U., Monticelli, C. and Konstantinou, T. (2024), "Textile Membrane for Façade Retrofitting: Exploring Fabric Potentialities for the Development of Innovative Strategies", *Buildings*, Vol. 14, p. 86. Available at: https://doi.org/10.3390/buildings14010086 (Accessed on 10/01/2024).

Sandin, G. and Peters, G.M. (2018), "Environmental impact of textile reuse and recycling – A review", *Journal of Cleaner Production*. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266 (Accessed on 13/02/2023).

Progettazione climatica di strutture leggere per migliorare la vivibilità degli ambienti urbani

Rossella Siani[1], https://orcid.org/0000-0003-0867-4301 rossella.siani@unipr.it
Francesco De Luca[2], https://orcid.org/0000-0002-5762-9446 francesco.deluca@taltech.ee
[1] Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Parma, Italia
[2] Department of Civil Engineering and Architecture, Tallinn University of Technology, Estonia

Abstract. Un ambiente urbano climaticamente neutro può trarre beneficio da strutture leggere che alleviano il surriscaldamento estivo, riducono le temperature superficiali e le emissioni di carbonio e sequestrano CO_2 attraverso materiali naturali. Questo studio propone un sistema architettonico temporaneo per migliorare il comfort termico durante tutto l'anno negli spazi urbani. Integrando design parametrico e morfogenesi computazionale, il sistema ottimizza l'ombreggiatura e il flusso d'aria, riducendo lo stress termico estivo e mantenendo l'accesso alla radiazione solare in inverno. La struttura modulare si integra visivamente nell'ambiente circostante senza ostruirne la vista. Simulazioni climatiche e un prototipo in scala 1:30 ne confermano la fattibilità, offrendo una soluzione sostenibile e adattabile per diversi climi urbani e contribuendo alla progettazione climaticamente reattiva.

Parole chiave: Cambiamento climatico; Ottimizzazione; Morfogenesi; Design parametrico; Fabbricazione digitale.

Introduzione

L'ambiente costruito svolge un ruolo significativo nella crisi del cambiamento climatico e del riscaldamento globale, soprattutto a causa del crescente consumo di energia e delle emissioni di CO_2. Le città sono responsabili del 50-60% delle emissioni globali di gas serra (UN-Habitat, 2023), una cifra destinata ad aumentare con la crescita della popolazione urbana. Oltre all'aumento della temperatura globale, fenomeni locali come le ondate di calore e l'effetto isola di calore urbana (UHI) rappresentano una seria minaccia per la salute umana.

L'aumento delle temperature ambientali nelle aree urbane porta a un aumento della domanda di energia per il raffreddamento, riduce il comfort termico e aumenta la mortalità e le malattie legate al calore (Santamouris, 2015), soprattutto tra le popolazioni vulnerabili e a basso reddito. Il surriscaldamento urbano diventa particolarmente grave quando le ondate di calore e l'effetto UHI interagiscono, portando a un estremo disagio termico dovuto all'aumento delle temperature urbane fino a 10 °C (Santamouris, 2020). Inoltre, lo stress termico urbano è una preoccupazione crescente anche nelle città delle regioni temperate e fredde, come il nord Italia (Rota *et al*., 2019).

Un'ampia letteratura ha esaminato le possibili soluzioni per la creazione di un ambiente urbano più resiliente, alla luce dell'aumento delle temperature dovuto ai cambiamenti climatici. Numerosi studi hanno esaminato l'impatto della morfologia urbana e dei materiali sul comfort termico esterno (OTC) e sullo stress da calore. Il verde ha dimostrato di migliorare significativamente il comfort termico grazie all'effetto di ombreggiamento e di evapotraspirazione a latitudini e climi diversi (Gatto *et al*., 2020). I materiali "freddi" utilizzati per le pavimentazioni e le facciate degli edifici, insieme alle facciate e ai tetti verdi (Santamouris, 2014) riducono significativamente la temperatura radiante locale e contribuiscono a diminuire la temperatura dell'aria nell'ambiente urbano più ampio. Anche gli elementi urbani d'acqua, come fontane e piccoli stagni, si sono rivelati utili per ridurre lo stress da calore.

Nonostante gli effetti positivi delle strategie di mitigazione menzionate per migliorare la vivibilità degli ambienti urbani, gli autori sostengono che anche un'ulteriore strategia, quella delle strutture urbane temporanee e leggere, come coperture e pensiline, può fornire un significativo comfort termico, arricchendo allo stesso tempo la qualità architettonica dell'ambiente urbano e l'esperienza degli utenti attraverso il placemaking (Asato,

Climate conscious design of light structures for improving the liveability of urban environments

Abstract. A climate-neutral urban environment can benefit from light structures that provide relief from urban overheating in warm seasons, reduce surface temperatures, and lower energy needs and carbon emissions while sequestering carbon through bio-based materials. This research introduces a temporary architectural system to enhance thermal comfort year-round in urban spaces. Combining parametric design with computational morphogenesis, the system optimises shading and airflow to reduce summer heat stress while retaining solar radiation in winter. The modular structure integrates visually with its surroundings without obstructing views. Climate simulations and a 1:30 scale prototype confirm its feasibility, offering a sustainable, adaptable solution for diverse urban climates and contributing to climate-responsive design.

Keywords: Climate change; Optimisation; Morphogenesis; Parametric design; Digital fabrication.

Introduction

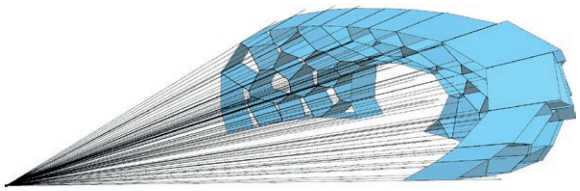
The built environment plays a significant role in global crises such as climate change and global warming, primarily due to its growing energy consumption and CO_2 emissions. Cities are responsible for 50-60% of global greenhouse gas (GHG) emissions (UN-Habitat, 2023), a figure that is expected to rise with the growth of the urban population. In addition to global temperature increases, local phenomena such as heatwaves and the urban heat island effect (UHI) pose serious threats to human health.

Rising ambient temperatures in urban areas lead to a substantial increase in cooling energy demand, reduce thermal comfort, and escalate heat-related mortality and illnesses (Santamouris, 2015), above all among the vulnerable and low-income populations. Urban overheating becomes especially severe when heatwaves and UHI effect interact, leading to extreme thermal discomfort due to an urban temperature increase of up to 10 °C (Santamouris, 2020). Furthermore, urban thermal stress is a growing concern also in cities in temperate and colder regions, such as the north of Italy (Rota *et al*., 2019).

A large body of literature investigated possible solutions for the creation of a more resilient urban environment, in light of increasing temperatures due to climate change. Numerous studies have examined the impact of urban morphology and surface materials on outdoor thermal comfort (OTC) and heat stress. Vegetation and trees have proved to significantly improve thermal comfort due to the shading and evapotranspiration effect at different latitudes and climates (Gatto *et al*., 2020). "Cool" materials used for pave-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16583

01 | Grafico tridimensionale del padiglione (blu) con vettori che determinano la direzione dell'estrusione dei moduli in base a un punto focale specifico
Three-dimensional graphic of the pavilion (blue) with vectors determining the extrusion direction of the modules according to a specific focus point



| 01

2018). Le indagini sul potenziale di miglioramento dell'OTC di queste strutture sono ancora poche. Il lavoro presentato colma questa lacuna di ricerca per il miglioramento della neutralità climatica dell'ambiente urbano.

Metodologia della Ricerca L'obiettivo della ricerca è investigare il potenziale delle strutture urbane leggere e temporanee per il comfort termico esterno (OTC) durante la stagione calda, senza peggiorarlo durante la stagione fredda. Al contempo, l'ombra fornita contribuirebbe a ridurre le temperature delle superfici urbane e dell'aria, diminuendo così la necessità di energia per il raffrescamento e le emissioni di carbonio correlate, oltre a favorire il sequestro di carbonio attraverso l'utilizzo di biomateriali. Per raggiungere l'obiettivo della ricerca, la metodologia si articola in tre fasi: definizione della metodologia di morfogenesi, selezione degli indicatori chiave di prestazione climatica (KPI) e determinazione degli obiettivi prestazionali.
Per la morfogenesi della struttura urbana leggera, la ricerca sfrutta il design parametrico e la fabbricazione digitale per realizzare un'architettura responsiva (Oxman and Oxman, 2014) e i processi di progettazione morfogenetica computazionale per creare forme architettoniche adattive (Pugnale and Sassone, 2007; Siani, 2023). Questi metodi di morfogenesi sono in grado di interagire con fattori ambientali come la disponibilità solare e i modelli del vento (De Luca, 2017a; 2019a), migliorando così il comfort degli spazi esterni (Naboni *et al*., 2023), anche attraverso l'uso di materiali naturali (Siani, 2020).
Gli indicatori chiave di prestazione ambientale (KPI) per l'analisi dell'OTC sfruttano diversi modelli e indici di comfort termico. L'Universal Thermal Climate Index (UTCI) è un indicatore ampiamente utilizzato per valutare l'OTC considerando gli effetti combinati di temperatura dell'aria, umidità, velocità del vento e temperatura media radiante (MRT) sul corpo umano (Bröde *et al*., 2010). L'UTCI offre una valutazione completa di come i diversi fattori ambientali influenzano lo stress termico percepito. Per questa ricerca, l'UTCI è stato scelto perché rappresenta l'indice più versatile per valutare il comfort termico e gli impatti potenziali dello stress da calore e da freddo.
Determinare gli obiettivi di prestazione è un compito cruciale nella progettazione climatica architettonica (Eslamirad *et al*., 2022). Numerosi lavori di ricerca hanno studiato metodi per bilanciare obiettivi progettuali climatici contrastanti, ad esempio soddisfare i requisiti di accesso solare e densità edilizia negli ambienti urbani, oltre a garantire il comfort termico esterno e l'illuminazione naturale interna durante la stagione fredda (De Luca, 2017b; 2019b). Nella presente ricerca, gli obiettivi prestazionali contrastanti per la progettazione della struttura leggera consistono nel fornire OTC durante la stagione calda bloccando adeguatamente l'irradianza solare, consentendone però il passaggio durante la stagione fredda per mantenere la sensazione di comfort termico durante tutto l'anno. Inoltre, la struttura leggera è progettata per consentire una vista panoramica del contesto (Fig. 1), integrandosi nell'ambiente esistente per migliorare l'esperienza dell'utente.

Metodi di Morfogenesi Lo sviluppo di un sistema architettonico capace di rispondere ai parametri ambientali per ottenere specifiche prestazioni di comfort climatico richiede diverse fasi: un'analisi prelimina-

ments and building façades, together with green façades and roofs, (Santamouris, 2014) significantly reduce the local radiant temperature and help decrease the air temperature in the larger urban environment. Water-based urban features such as fountains and small water ponds also proved to be beneficial in reducing heat stress.
Notwithstanding the positive effects of the mentioned mitigation strategies for improving the liveability of urban environments, the authors argue that an additional strategy, namely temporary and light urban structures, such as canopies and shelters, can also provide significant thermal comfort, while at the same time enriching the architectural quality of the urban environment and the user experience through placemaking (Asato, 2018). The potential of these structures in improving OTC is still scarcely investigated. Thus, to fill the research gap, we developed the work presented in the paper, which will have a significant impact on the design and scientific communities involved in improving the climate neutrality of the urban environment.

Research methodology
The aim of the research is to investigate the potential of temporary and light urban structures to provide OTC for users in the warm season, while not worsening it during the cold season. At the same time, the shade provided would contribute to decrease urban surface temperatures and air temperature, thus the need for cooling energy and the related carbon emissions, and to provide carbon sequestration through the use of biomaterials. The methodology presents three steps to achieve the aim of the research, namely define the morphogenesis methodology, select the climatic key performance indicators (KPI), and determine the performance objectives. For the morphogenesis of the light urban structure, the research takes advantage of parametric design and digital fabrication to create responsive architecture (Oxman and Oxman, 2014), and of computational morphogenic design processes to create adaptive architectural forms (Pugnale and Sassone, 2007; Siani, 2023). These form generation methods can interact with environmental factors such as solar availability and wind patterns (De Luca, 2017a; 2019a), thereby enhancing the comfort of outdoor spaces (Naboni *et al*., 2023), also through the exploitation of natural materials (Siani, 2020).
Environmental KPIs for OTC analysis take advantage of several thermal comfort models and indices. The Universal Thermal Climate Index (UTCI) is a widely used indicator for assessing OTC by considering the combined effects of air temperature, humidity, wind speed, and MRT on the human body (Bröde *et al*., 2010). UTCI provides a comprehensive evaluation of how different environmental factors influence perceived thermal stress. UTCI is selected for the research because it is the most versatile index in urban planning, climate research, and public health to assess thermal comfort and the potential health impacts of heat and cold stress.
Determining performance objectives is a crucial task in architectural climatic design because developing a form for a specific performance can have a negative impact on another performance or on the same performance when that must be achieved during different seasons (Eslamirad

re di un caso studio per definire le problematiche climatiche critiche, la definizione degli indicatori chiave di prestazione ambientale, lo sviluppo di una strategia progettuale, simulazioni climatiche, lo studio e la progettazione della fase di prototipazione, la produzione e l'analisi dei risultati.
Per questa metodologia vengono proposti strumenti specifici di progettazione, analisi e costruzione. Per la fase di progettazione e simulazione climatica sono stati adottati i software Rhinoceros Grasshopper e Ladybug, mentre per la costruzione di un prototipo in scala sono state impiegate tecniche di fabbricazione digitale e una macchina CNC (Controllo Numerico Computerizzato). L'analisi del prototipo in scala è stata condotta utilizzando un heliodon.
Le fasi del processo metodologico sono delineate come segue:
1. caso studio;
2. strategia;
3. morfogenesi computazionale;
4. prototipazione e produzione;
5. studio delle ombre;
6. analisi del comfort climatico.

Caso Studio
Per testare la struttura è stata scelta un'area aperta del Campus universitario di Parma. La regione di Parma sperimenta un significativo stress da caldo durante l'estate. Utilizzando i dati climatici e i software *Rhinoceros, Grasshopper* e *Ladybug*, sono state identificate le settimane tipiche dell'estate (8-14 giugno, dalle 8:00 alle 20:00) e dell'inverno (3-9 febbraio, dalle 9:30 alle 17:00). Le temperature equivalenti UTCI sono 27,08°C (estate) e 17,48°C (inverno). Pertanto, secondo la scala UTCI, le settimane estive presentano uno stress termico moderato, mentre le settimane invernali non presentano stress termico. Il progetto mira a migliorare il comfort estivo senza compromettere le condizioni invernali.

Strategia
Una doppia strategia di ottimizzazione delle ombre guida il design del sistema modulare. La struttura riduce il guadagno di calore in estate attraverso l'ombreggiamento, mentre minimizza le ombre in inverno. Inoltre, facilita il flusso d'aria e tiene conto della percezione visiva, incorniciando l'ambiente circostante con un'ostruzione minima (Fig. 2). Il progetto ottimizza il comfort climatico e visivo, ottenendo benefici quantitativi (parametri OTC) e qualitativi (percezione visiva del contesto).

Morfogenesi Computazionale
Il progetto bilancia obiettivi potenzialmente contrastanti utilizzando strumenti parametrici. I parametri considerati includono:
– forma e orientamento del sistema;
– forma, orientamento ed estrusione dei moduli;
– superficie d'ombra.
Una superficie ad arco è allineata con il percorso del sole per massimizzare l'ombra durante l'estate. La struttura è orientata verso nord, schermando efficacemente la luce solare. La superficie è discretizzata in una griglia di Voronoi; ogni elemento genera un modulo con due basi aperte per consentire il passaggio della luce solare e il flusso d'aria. Le estrusioni dei moduli sono allineate con i raggi solari, ottimizzando le ombre estive e invernali. Le aperture favoriscono il raffrescamento consentendo il passaggio dell'aria.

et al., 2022). Many research works investigated methods for balancing competing climatic design objectives, e.g., fulfilling solar access and built density requirements in urban environments, and achieving indoor daylight and outdoor thermal comfort during the cold season (De Luca, 2017b; 2019b). The competing performance objectives of this research for the design of the light structure are providing OTC during the warm season by adequately blocking solar irradiance, while allowing it during the cold season to increase the thermal comfort sensation for the entire year.
Thus, the primary objective of this research is to create a temporary architectural system that enhances thermal comfort in urban open spaces throughout the seasons. Additionally, the light structure is designed to allow a panoramic view of the context in order to integrate it into the existing environment for enhanced user experience and placemaking (Fig. 1).

Morphogenesis methods
The development of an architectural system capable of responding to environmental parameters to achieve specific climatic comfort performance requires several phases, namely a preliminary analysis of the case study to define critical climatic issues, the definition of the environmental key performance indicator, the development of a design strategy, climatic simulations, study and design of the prototyping strategy, production, and analysis of results.
Specific design, analytical and construction tools are proposed for this methodology. This research adopts Rhinoceros Grasshopper and Ladybug Tools environmental digital design tools for the design and climate simulation phase, and employs Digital Fabrication techniques and a CNC (Computer Numerical Control) machine for the construction of a scale prototype. The shadow analysis of the scale prototype is conducted by a heliodon.
The stages of the methodological process are outlined as follows:
1. Case study;
2. Strategy;
3. Computational morphogenesis;
4. Prototyping and production;
5. Shadow study;
6. Climatic comfort analysis.

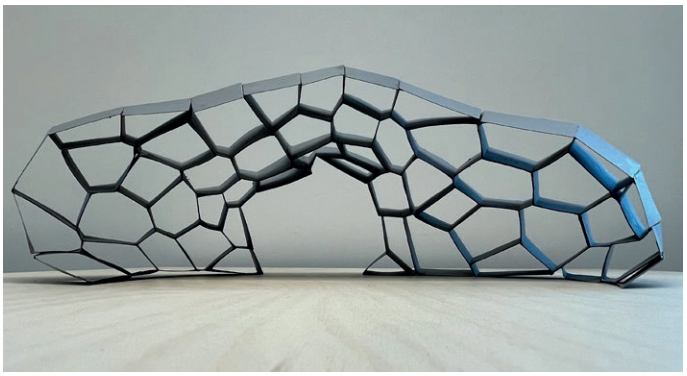
Case study
An open area at the University Campus of Parma was selected to test the structure. The Parma region experiences significant heat stress in summer. The typical summer (8-14 June, 8:00 AM to 8:00 PM) and winter (3-9 February, 9:30 AM to 5:00 PM) weeks were identified using climate data and Rhinoceros, Grasshopper, and Ladybug software. UTCI equivalent temperatures are 27.08°C (summer) and 17.48°C (winter). Thus, according to the UTCI scale, summer weeks show moderate heat stress, while winter weeks have no thermal stress. The project aims to improve summer comfort without impairing winter conditions.

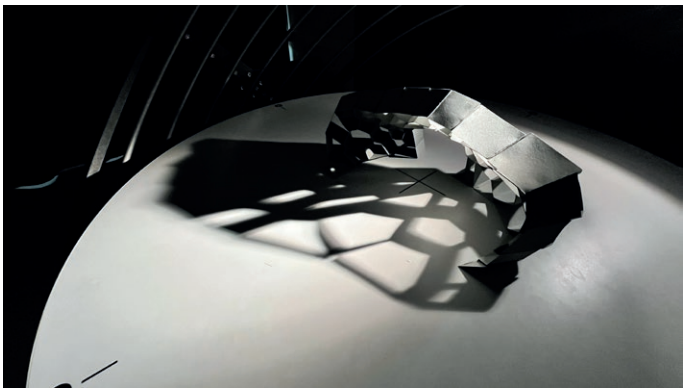
Strategy
A dual shadow optimisation strategy drives the modular system design. The structure reduces heat gain in summer through shading, while minimising shadows in winter. Additionally, it facilitates airflow and considers visual perception, framing the surroundings with minimal obstruction (Figs. 2). The design optimises climatic and visual comfort, yielding quantitative

02 | Vista prospettica del padiglione dal punto focale. Si nota come la vista oltre l'architettura sia incorniciata, ma non ostruita
Prosthetic view of the pavilion from the focal point. Notice how the view beyond the architecture is framed, but not obstructed

03 | Studio delle ombre utilizzando il prototipo in scala 1:30 e l'Eliodone. Febbraio alle 14:00
Shadow study using the 1:30 scale prototype and Heliodon. February at 2:00 pm

04 | Studio delle ombre utilizzando il prototipo in scala 1:30 e l'Eliodone. Giugno alle 14:00
Shadow study using the 1:30 scale prototype and Heliodon. June at 2:00 pm


| 02


| 03

| 04

La profondità e l'orientamento delle estrusioni dei moduli sono influenzate dai principi di percezione visiva. Un punto focale assicura che la struttura appaia leggera, incorniciando il paesaggio. La visione dei visitatori cambia dinamicamente man mano che si spostano nello spazio, creando esperienze visive variegate. L'ottimizzazione delle ombre si concentra sull'area definita dal piano architettonico, servendo sia come spazio di sosta che come spazio di transizione.

Prototipazione e Produzione
I fattori di morfogenesi tengono conto della fattibilità strutturale. La divisione modulare considera le dimensioni dei materiali, la produzione, il trasporto e l'assemblaggio. È stato costruito un prototipo in scala 1:30 utilizzando cartone e taglio laser. Sono stati utilizzati flussi di lavoro di fabbricazione digitale, compresi i processi CAD/CAM. I moduli sono stati separati, dispiegati e dotati di linguette per l'assemblaggio. Le linee di taglio e piegatura sono state elaborate tramite taglio laser e l'utilizzo del materiale è stato ottimizzato tramite un algoritmo di nesting.

Studio delle Ombre
Le ombre sono state analizzate utilizzando un prototipo in scala e un *heliodon*. L'ottimizzazione digitale delle ombre è stata verificata analogicamente. Le ombre di giugno (Fig. 4) coprono completamente il perimetro architettonico, mentre le ombre di febbraio (Fig. 3) permettono alla luce solare di penetrare, raggiungendo la maggior parte dell'area esaminata. Il lavoro ana-

(OTC parameters) and qualitative (visual perception of the context) benefits.

Computational morphogenesis
The design balances conflicting objectives using parametric tools. Parameters include:
– System form and orientation;
– Module form, orientation, and extrusion;
– Shadow area.
An arched surface aligns with the sun's path to maximise shade in summer. The structure faces north, shielding sunlight effectively. Discretised into a Voronoi grid, each element generates a module with two open bases to allow sunlight and airflow. Module extrusions align with the sun's rays, optimising summer and winter shadows. The openings enhance cooling by allowing airflow during summer.

The extrusion depth and orientation of modules are influenced by visual perception principles. A focal point ensures the structure appears lightweight, framing the landscape. Visitors' views shift dynamically as they move through the space, creating varied visual experiences. Shadow optimisation focuses on the architectural plan's defined area, serving as both a resting and transitional space.

Prototyping and production
Morphogenesis factors account for structural feasibility. Modular division considers material dimensions, production, transport, and assembly. A 1:30 scale prototype was constructed using cardboard and laser cutting. Digital manufacturing workflows, including CAD/CAM processes, were employed. Modules were separated, unfolded, and equipped with tabs for assembly. Cutting and folding lines were processed via laser cutting, and material usage was optimised through a nesting algorithm.

Shadow study
Shadows were analysed using a scale prototype and a heliodon. Digital shadow optimisation was verified analogically. In June, shadows fully cover the architectural perimeter (Fig. 4), while in February (Fig. 3) sunlight penetrates through the structure, reaching most of the examined area. The potential for working in an analogue format, which includes spontaneous movements and manipulations, can lead to the emergence of intuitions and useful techniques for future experiments.

Climatic comfort analysis
For the analysis of climatic comfort, the analysis area corresponds to the section of ground beneath the structure, measuring approximately 10 x 5 metres, resulting in a total surface area of 50 square metres. The analysis grid is subdivided into squares measuring 0.5 x 0.5 m each, being the structure located at the University Campus of Parma, Italy, thus the EPW climate data of the two representative weeks (summer and winter) for this region are utilised.

Results
The study conducted has led to the development of a temporary architectural system designed to enhance climatic comfort in summer while not decreasing the actual level of comfort in winter. The system is designed as a pavilion, with a maximum height of 4.26 metres, an average depth of 5 metres, and a width of 14 metres. The climatic influence of the system covers an area of approximately 65 square

05 | Temperatura equivalente UTCI durante la stagione estiva tipica a Parma, dal 6 al 14 giugno, tra le 08:00 e le 20:00. Ante Operam
UTCI Equivalent temperature during the typical summer season in Parma, which spans from 6 June to 14 June, between 08:00 am and 08:00 pm. Ante Operam
06 | Temperatura equivalente UTCI durante la stagione invernale tipica a Parma, dal 3 al 9 febbraio, con orari operativi dalle 9:30 alle 17:00. Ante Operam
UTCI Equivalent temperature during the typical winter season in Parma, from 3 February to 9 February, with operating hours from 9:30 am to 05:00 pm. Ante Operam

Ladybug. Queste simulazioni si basano sull'*Universal Thermal Climate* Index (UTCI). L'area di analisi corrisponde alla sezione di terreno sotto la struttura, con dimensioni di 10 x 5 metri, per una superficie totale di 50 metri quadrati. La griglia di analisi è suddivisa in quadrati di 0,5 x 0,5 metri ciascuno. La struttura si trova nel Campus Universitario di Parma, Italia; pertanto, sono stati utilizzati i dati climatici EPW per questa regione. Sono stati selezionati due periodi di analisi: uno rappresentativo di una settimana tipo estiva e l'altro di una settimana tipo invernale, basati sulle statistiche climatiche di Parma. La settimana tipo estiva va dal 6 al 14 giugno, dalle 8:00 alle 20:00; la settimana tipo invernale si estende dal 3 al 9 febbraio, dalle 9:30 alle 17:00.

Risultati

Lo studio condotto ha portato allo sviluppo di un sistema architettonico temporaneo progettato per migliorare il comfort climatico durante l'estate e non diminuire il livello effettivo di comfort durante l'inverno. Il sistema è stato progettato come un padiglione, con un'altezza massima di 4,26 metri, una profondità media di 5 metri e una larghezza di 14 metri. L'influenza climatica del sistema copre un'area di circa 65 metri quadrati, corrispondente allo spazio all'interno del perimetro architettonico. Lo studio delle ombre da parte dell'*heliodon* fornisce una prima verifica empirica del corretto funzionamento del sistema in relazione alla luce solare. Come illustrato nelle Figure 4, è evidente che durante il mese di giugno l'area all'interno del perimetro architettonico è completamente ombreggiata. Al contrario, durante il mese di febbraio (Fig. 3), i raggi solari penetrano attraverso le perforazioni dei moduli, illuminando la maggior parte dell'area di interesse.

I risultati della simulazione OTC indicano che durante la tipica stagione estiva, che va dal 6 al 14 giugno, nelle ore diurne tra le 08:00 e le 20:00, la temperatura equivalente UTCI per Parma è di 27,08 °C (Fig. 5). Il progetto proposto riduce la temperatura equivalente UTCI a 25,46 °C, con aree che raggiungono temperature di 21,96 °C (Fig. 7). Rapportando questi dati alla scala UTCI, si osserva una transizione da un livello di stress termico moderato a un livello di stress termico nullo, raggiungendo con successo l'obiettivo desiderato per la stagione estiva.
Durante la stagione invernale, la settimana tipica di Parma va dal 3 al 9 febbraio. Sono state utilizzate le ore diurne di funzionamento dalle 9:30 alle 17:00. In questo periodo, la temperatura equivalente UTCI per Parma è di 15,43 °C (Fig. 6). La struttura riduce leggermente la temperatura equivalente UTCI a 13,37 °C, con un massimo di 9,38 °C (Fig. 8). Nonostante questa diminuzione della temperatura, il livello di comfort termico rimane all'interno della zona di non stress termico secondo la scala UTCI, che è definita come compresa tra 9 °C e 26 °C.
Il modello in scala 1:30 viene utilizzato per verificare la percezione visiva. Questo modello utilizza la prospettiva fotografica per dimostrare come, da una specifica angolazione, fornisca una visione del contesto incorniciato unicamente da una griglia (Fig. 2). Il movimento del visitatore attraverso lo spazio crea ulteriori potenziali frammentazioni della visione, dando luogo a un continuo gioco di esperienze visive.

| 05

| 06

metres, corresponding to the space within the architectural perimeter.
The study of shadows by the heliodon provides an initial empirical verification of the system's proper function in relation to sunlight. As illustrated in Figure 4, it is evident that the area within the architectural perimeter is completely shaded in the month of June. Conversely, during the month of February (Fig. 3), the sun's rays penetrate through the module's perforations, illuminating most of the area of interest.
The OTC simulation results indicate that during the typical summer season, which spans from 6 June to 14 June, in daytime between 08:00 am and 08:00 pm, the equivalent UTCI temperature for Parma is 27.08 °C (Fig. 5). The proposed project reduces the equivalent UTCI temperature to 25.46 °C, with areas achieving temperatures as low as 21.96 °C (Fig. 7). When we relate these data to the UTCI scale, we observe a transition from a moderate heat stress level to a no thermal stress level, successfully meeting the desired objective for the summer season.
During the winter season, the typical week in Parma spans from 3 February to 9 February. The daytime operating hours from 09:30 am to 05:00 pm were used. In this period, the equivalent UTCI temperature for Parma is 15.43 °C (Fig. 6). The structure slightly reduces the UTCI equivalent temperature to 13.37 °C, with a maximum of 9.38 °C (Fig. 8). Despite this decrease in temperature, the level of thermal comfort remains within the no thermal stress zone according to the UTCI scale, which is defined as being between 9 °C and 26 °C.
The 1:30 scale model is utilised to verify visual perception. This model

07 | Temperatura equivalente UTCI durante la stagione estiva tipica a Parma, dal 6 al 14 giugno, tra le 08:00 e le 20:00. Post Operam

UTCI Equivalent temperature during the typical summer season in Parma, which spans from 6 June to 14 June, between 08:00 am and 08:00 pm. Post Operam

08 | Temperatura equivalente UTCI durante la stagione invernale tipica a Parma, dal 3 al 9 febbraio, con orari operativi dalle 9:30 alle 17:00. Post Operam

UTCI Equivalent temperature during the typical winter season in Parma, from 3 February to 9 February, with operating hours from 9:30 am to 05:00 pm. Post Operam

La ricerca ha dato i risultati sperati. In particolare, la struttura testata incorpora un doppio funzionamento estate/inverno per il controllo del clima, migliorando il comfort termico durante l'estate e mantenendo livelli di comfort costanti in inverno. Contemporaneamente, l'architettura stabilisce un rapporto visivo dinamico tra il visitatore e l'ambiente circostante. La fattibilità, sebbene sia stata testata solo con un modello in scala, è destinata a essere implementata utilizzando gli stessi processi di fabbricazione digitale su scala reale.

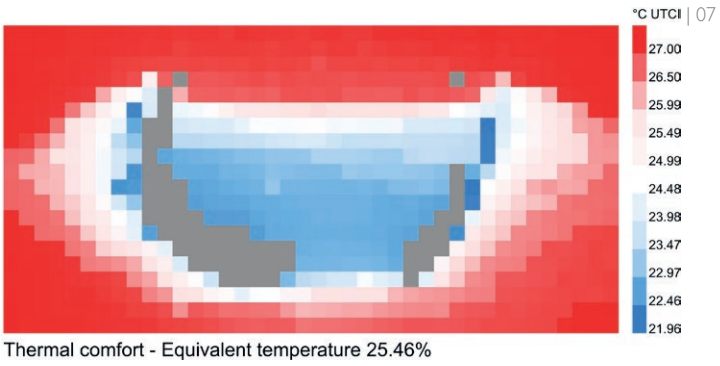
Limiti e Sviluppi Futuri

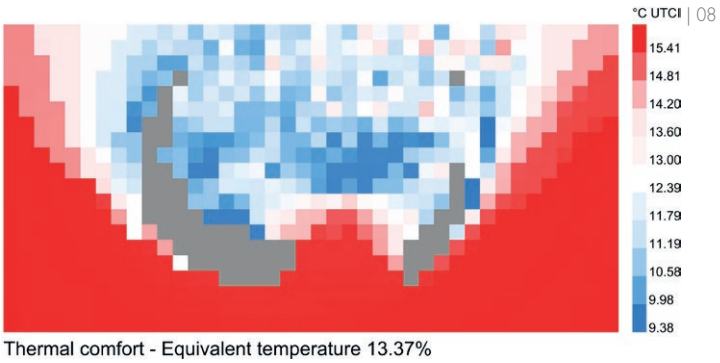
La ricerca presenta alcune limitazioni, riassunte di seguito, principalmente dovute alla sua natura sperimentale.

- *Site-specific*: la natura *site-specific* della struttura è un punto di forza notevole, ma limita l'applicabilità universale del progetto. Sebbene la metodologia di morfogenesi tramite design parametrico sia adattabile, la sua efficacia deve essere testata in ambienti diversi per confermare la sua idoneità.
- Settimane tipiche (estate e inverno): la ricerca si concentra su "settimane tipiche" specifiche per l'analisi climatica, il che fornisce utili approfondimenti, ma non tiene conto delle variazioni su periodi più lunghi. Un'analisi temporale estesa migliorerebbe la risultati.

Alcuni lavori futuri possono superare queste limitazioni, qui di seguito proposti:

- Test in diverse località: per validare la versatilità della metodologia proposta, le future ricerche coinvolgeranno il test del sistema in contesti geografici e climatici diversi, valutandone l'adattabilità e l'efficacia.
- Analisi su intere stagioni: gli studi futuri amplieranno l'analisi includendo i dati per le intere stagioni estiva e invernale, fornendo una comprensione più completa delle prestazioni del sistema durante l'anno.
- Fabbricazione e validazione 1:1: sarà intrapresa la fabbricazione su scala reale (1:1) del sistema, consentendo una validazione diretta dell'analisi climatica tramite misurazioni in situ. Ciò garantirà la praticità e l'efficacia del progetto in applicazioni reali.





Conclusioni

La ricerca presentata dimostra l'obiettivo iniziale di investigare il potenziale delle strutture urbane temporanee e leggere per

employs photographic perspective to demonstrate how, from a specific angle, it provides a view of the context framed solely by a grid (Fig. 2). The visitor's movement through the space creates additional potential fragmentations of vision, resulting in a continuous interplay of visual experiences.

The research has yielded the desired results. Specifically, the tested structure incorporates a dual summer/winter operation for climate control, enhancing thermal comfort during the summer, while maintaining consistent comfort levels in the winter. Simultaneously, the architecture establishes a dynamic visual relationship between the visitor and the surrounding environment. Feasibility, although tested only with a scale model, is intended to be implemented using the same digital manufacturing processes at full scale.

Limits and future work

The research has certain limitations, summarised below, mainly due to its experimental nature.

- Site-specific: the site-specific nature of the structure is a notable strength, but it also limits the design's applicability in other locations. While the morphogenesis methodology by parametric design is adaptable, its effectiveness needs testing in diverse environments to confirm its suitability beyond the case study location.
- Typical Weeks (Summer and Winter): the research focuses on specific "typical weeks" for climatic analysis, which provides valuable insights but does not account for variations over longer periods. An extended temporal analysis would improve the robustness of the findings.

Some future work can overcome these limitations. They are proposed below:

- Testing in Different Locations: to validate the versatility of the proposed methodology, future research will involve testing the system in different geographical and climatic contexts, assessing its adaptability and effectiveness.
- Analysis Across Entire Seasons: future studies will expand the analysis to include data for the entire summer and winter seasons, providing a more comprehensive understanding of the system's year-round performance.
- 1:1 Fabrication and Validation: a full-scale (1:1) fabrication of the system will be undertaken, allowing for direct validation of climatic analysis through in situ measurements. This will ensure the practical effectiveness of the design in real-world applications.

Conclusions

The research presented demonstrates the initial aim to investigate the potential of temporary and light urban structures in view of providing outdoor thermal comfort and visual interaction while improving carbon neutrality of the urban environment through the following key points:

- Designing a Passive System: Development of a modular architecture optimised for maximising shade in summer while maintaining favourable conditions in winter, eliminating the need for energy consuming applications (misting fans and outdoor heaters);
- Promoting Climate Adaptation: Design of a structure that enhances the liveability of urban spaces in the context of climate change, providing improved comfort without energy consumption and minimising

fornire comfort termico all'aperto e interazione visiva, contribuendo al miglioramento della neutralità carbonica nell'ambiente urbano attraverso i seguenti punti chiave:

- Progettazione di un sistema passivo: sviluppo di un'architettura modulare ottimizzata per massimizzare l'ombreggiatura in estate, mantenendo condizioni favorevoli in inverno, eliminando la necessità di fonti energetiche esterne.
- Promozione dell'adattamento climatico: progettazione di una struttura che migliora la vivibilità degli spazi urbani nel contesto dei cambiamenti climatici, offrendo maggiore comfort senza consumo energetico aggiuntivo e riducendo al minimo l'impatto ambientale rispetto ai sistemi di controllo attivo del clima.
- Interazione visiva: la struttura architettonica lavora come filtro alla visione del panorama da parte del passante, che sperimenta un'esperienza immersiva tramite giochi visivi.
- Sfruttamento della sequestro di carbonio: integrazione dell'uso del legno come materiale da costruzione, sfruttando la sua capacità di sequestrare carbonio durante tutto il suo ciclo di vita, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di CO_2.
- Ottimizzazione dell'uso dei materiali e della fabbricazione: impiego di strumenti di progettazione digitale e simulazione per migliorare le prestazioni climatiche, riducendo al minimo gli sprechi di materiale, supportato da tecniche di fabbricazione avanzate che garantiscono efficienza.
- Garantire la sostenibilità nell'implementazione: priorità alla provenienza sostenibile dei materiali nella realizzazione del sistema, traducendo la neutralità climatica teorica in benefici tangibili nel mondo reale.

environmental impact compared to active climate control systems;
- Visual interaction: The strong personality of the architectural composition characterises the urban space. Passers-by have a view of the panorama through the architectural structure that changes according to the point of view, achieving an immersive experience;
- Leveraging Carbon Sequestration: Integration of the use of wood as a construction material of the future 1:1 scale structure, harnessing its capacity to sequester carbon throughout its lifecycle, thereby contributing to reduce overall CO_2 emissions;
- Optimising Material Use and Fabrication: Employment of digital design and simulation tools for enhancing climatic performance while minimising material waste, supported by advanced fabrication techniques that ensure efficiency;
- Ensuring Sustainability in Implementation: Priority to the sustainable sourcing of materials in the system's creation, translating theoretical climate neutrality into measurable, real-world benefits.

By achieving these points, the research delivers an integrated, sustainable architectural solution that combines passive design with material and performance efficiency, contributing meaningfully to climate neutrality in urban environments and immersive experience for people.

Raggiungendo questi punti, la ricerca fornisce una soluzione architettonica integrata e sostenibile che combina il design passivo con l'efficienza dei materiali e delle prestazioni, contribuendo significativamente alla neutralità carbonica negli ambienti urbani e offrendo un'esperienza immersiva per le persone.

REFERENCES

Asato, A. (2018), *Pavilions as Urban Placemakers: Temporary Architecture and Community Engagement*, University Honors Theses, Paper 536, Portland State University, PDXScholar, Portland. Available at: https://doi.org/10.15760/honors.541 (Accessed on 29/11/2024).

Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., and Havenith, G. (2010), "The Universal Thermal Climate Index UTCI in Operational Use", *Proceedings of Conference Adapting to Change: New Thinking on Comfort,* Windsor, UK, April 9-11, 2010, pp.1–6. Available at: https://utci.org/resources/windsor_vers05.pdf (Accessed on 29/11/2024).

De Luca, F. (2017a), "Solar collection multi-isosurface method: Computational design advanced method for the prediction of direct solar access in urban environments", *Proceedings of CAAD Futures 2017*, Istanbul, Turkey, July 12-14, 2017, Communications in Computer and Information Science, Vol. 724, pp. 170-187. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5197-5_10 (Accessed on 29/11/2024).

De Luca, F. (2019a), "Sun and wind: integrated environmental performance analysis for

building and pedestrian comfort", *Proceedings of the 10th Annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design SimAUD 2019*, Atlanta (GE), USA, April 7-9, 2019, Simulation Series, Volume 51, Issue 8, pp. 3–10. Available at: https://dl.acm.org/doi/10.5555/3390098.3390099 (Accessed on 29/11/2024).

De Luca, F. (2017b), "From Envelope to Layout. Buildings Massing and Layout Generation for Solar Access in Urban Environments", Sharing Computational Knowledge! ShoCK!, *Proceedings of the 35th International Conference eCAADe*, Rome, Italy, September 20-22, Vol. 2, pp. 431-440. Available at: https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_164.pdf (Accessed on 29/11/2024).

De Luca, F. (2019b), "Environmental Performance-Driven Urban Design: Parametric Design Method for the Integration of Daylight and Urban Comfort Analysis in Cold Climates", *Proceedings of CAAD Futures 2019*, Daejeon, South Korea, July 26-28, 2019, Communications in Computer and Information Science, Vol. 1028, pp. 15-31. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8410-3_2 (Accessed on 29/11/2024).

Eslamirad, N., Sepúlveda, A., De Luca, F. and Sakari Lylykangas, K. (2022), "Evaluating Outdoor Thermal Comfort Using a Mixed-Method to Improve the Environmental Quality of a University Campus", *Energies*, Vol. 15, n. 4, 1577. Available at: https://doi.org/10.3390/en15041577 (Accessed on 29/11/2024).

Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L. and Santiago, J.L. (2020), "Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort: Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland)", *Forests*, Vol. 11, n. 2, 228. Available at:. https://doi.org/10.3390/f11020228 (Accessed on 29/11/2024).

Naboni, E., Siani, R., Turrini, M., Touloupaki, E., Gherri, B. and De Luca, F. (2023), "Experiments on Microclimatically adapt a courtyard to climate change", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1196, 012032. Available at: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1196/1/012032 (Accessed on 29/11/2024).

Oxman, R. and Oxman, R. (2014), *Theories of the Digital in Architecture*, Routledge, New York. Available at: https://www.routledge.com/Theories-of-the-Digital-in-Architecture/Oxman-Oxman/p/book/9780415469241 (Accessed on 29/11/2024).

Pugnale A. and Sassone, M. (2007), "Morphogenesis and structural optimization of shell structures with the aid of a genetic algorithm", *Journal of the International Association For Shell And Spatial Structures*, Vol. 48, n. 3, pp. 161-166. Available at: https://www.researchgate.net/publication/271522718_Morphogenesis_and_Structural_Optimization_of_Shell_Structures_with_the_Aid_of_a_Genetic_Algorithm#fullTextFileContent (Accessed on 29/11/2024).

Rota, P., Gravante, A. and Zazzi, M. (2019), "Urban Heat Island (UHI) risk maps as innovative tool for urban regeneration strategies. The case of Parma", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 296, 012034. Available at: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/296/1/012034 (Accessed on 29/11/2024).

Santamouris, M. (2014), "Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments", *Solar Energy*, Vol. 103, pp. 682–703. Available at: https: //doi.org/10.1016/J.SOLENER.2012.07.003 (Accessed on 29/11/2024).

Santamouris, M. (2015), "Regulating the damaged thermostat of the cities – Status, impacts and mitigation challenges", *Energy and Buildings*, Vol. 91, pp. 43–56. Available at: https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.01.027 (Accessed on 29/11/2024).

Santamouris, M. (2020), "Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change", *Energy and Buildings*, Vol. 207, 109482. Available at: https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.109482 (Accessed on 29/11/2024).

Siani, R. (2020), "Materiali Naturali – Progettazione Generativa. Dall'antitesi alla sintesi", In Perriccioli, M., Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Tucci F. (Eds.), *Design in the Digital Age. Technology Nature Culture | Il Progetto nell'Era Digitale*, Tecnologia Natura Cultura, Maggioli Editore. Available at: https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf (Accessed on 01/02/2025).

Siani, R. (2023), "Algorithm Morphogenesis by Solar Parameters and Model Fabrication of a Temporary Architecture", *Proceedings of eCAADe RIS 2023*, Tallinn, Estonia, June 15-16, 2023, pp. 183-188. Available at: https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaaderis2023_52.pdf (Accessed on 29/11/2024).

UN-Habitat (2023), *Urban Energy*, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya. Available at: https://unhabitat.org/topic/urban-energy (Accessed on 29/11/2024).

Un "AMICO" (*Account Method of Infrastructures embodied CarbOn*) per il BIM

Federica Gallina, https://orcid.org/0009-0004-8643-1844 federica.gallina@polito.it
Roberto Giordano, https://orcid.org/0000-0001-6640-548X roberto.giordano@polito.it
Massimiliano Lo Turco, https://orcid.org/0000-0003-1440-3911 massimiliano.loturco@polito.it
Benedetta Quaglio, https://orcid.org/0009-0004-2018-2734 benedetta.quaglio@polito.it
Andrea Tomalini, https://orcid.org/0000-0002-9508-1434 andrea.tomalini@polito.it
Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

Abstract. AMICO *(Account Method of Infrastructures embodied CarbOn)* è un progetto di ricerca del Politecnico di Torino, condotto per conto del Gruppo *Webuild*, il cui obiettivo è lo sviluppo di strumenti integrati di analisi e valutazione delle emissioni di CO_2 (*Embodied Carbon*) e dei fabbisogni energetici (*Embodied Energy*) di alcune fasi del ciclo di vita delle infrastrutture. La ricerca permette a progettisti ed esecutori di individuare quali materiali e quali processi abbiano maggior impatto energetico-ambientale e di definire le azioni di mitigazione per la progressiva decarbonizzazione di un'opera infrastrutturale. In particolare, l'articolo si concentra sull'importanza che assume la digitalizzazione dei dati ambientali in ambiente BIM.

Parole chiave: *Infrastructures, Embodied Carbon, Embodied Energy, Building Information Modeling, Visual Programme Learning*.

Introduzione

L'espansione demografica e urbana richiede soluzioni per mitigare le emissioni del settore delle costruzioni (Wu *et. al*., 2020; Chen *et. al*., 2020).
Una delle principali cause di tali emissioni è associata alla produzione di materiali da costruzione come acciaio, cemento e calcestruzzo[1]. Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione (European Commission, 2021), è necessario integrare lo studio della *carbon footprint* nei processi decisionali, fin dalle prime fasi di un progetto infrastrutturale, per consentire ai decisori di valutare l'impatto ambientale delle diverse alternative progettuali e di definire strategie a lungo termine per la riduzione delle emissioni.
Come sottolineato nel Position Paper pubblicato da *Green Building Council Italia* dal titolo: "Smart Building: la digitalizzazione per il Net Zero", la transizione energetica è fortemente correlata alla transizione digitale che viene identificata, a livello europeo, come un passaggio fondamentale per integrare le tecnologie digitali lungo l'intero ciclo di vita dei processi edilizi, favorendo soluzioni più sostenibili. Anche a livello nazionale, con il nuovo codice appalti (D.Lgs 36/2023) si sottolinea l'importanza della digitalizzazione nel settore delle costruzioni. In questo contesto, il BIM si pone come uno strumento chiave (GBC Italia, 2024), per raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica. Esperienze simili nell'applicazione di metodologie per integrare il BIM con l'analisi delle emissioni di CO_2eq nel ciclo di vita delle infrastrutture (Kaewunruen *et al.,* 2020) evidenziano come questo strumento possa migliorare significativamente la gestione di tali opere, in termini di riduzione dell'impatto ambientale.

Perché AMICO

Il progetto AMICO (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) è il risultato di una collaborazione tra il Gruppo *Webuild* e il Politecnico di Torino, avviata nel 2021 e finanziata dall'ex MISE (Ministero dello Sviluppo Economico), per lo sviluppo di uno strumento e di un protocollo per la contabilizzazione delle emissioni di carbonio e del consumo di risorse energetiche delle infrastrutture in alcune fasi del loro ciclo di vita.
Il Gruppo *Webuild*, in qualità di EIPR (Ente di Interesse Pubblico Rilevante), è tenuto per legge a redigere una Dichiarazione non finanziaria che includa una valutazione degli impatti ambientali

"AMICO" (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) for BIM

Abstract. AMICO (Account Method of Infrastructures embodied CarbOn) is a research project conducted in partnership with Webuild group. The aim is to develop integrated tools for the analysis and evaluation of CO_2 emissions (Embodied Carbon) and energy demand (Embodied Energy) of some phases of the infrastructure life cycle. The results of the study make it possible to identify which materials and processes have the most significant energy-environmental impact, and to define mitigation actions for progressive decarbonisation of the construction sector. In particular, the paper focuses on the importance of the project of digitising environmental data in a BIM environment.

Keywords: Infrastructures, Embodied Carbon, Embodied Energy, Building Information Modelling, Visual Programme Language.

Introduction

Population and urban expansion require solutions to mitigate emissions from the construction sector (Wu *et al.,* 2020; Chen *et al.,* 2020).
A significant cause of these emissions is associated with the production of construction materials such as steel, cement, and concrete[1]. In order to achieve decarbonisation goals (European Commission, 2021), it is necessary to integrate the study of carbon footprint into decision-making processes from the earliest stages of an infrastructure project. This will enable decision-makers to assess the environmental impact of different project alternatives and to define long-term strategies for reducing emissions.
As pointed out in the Position Paper published by Green Building Council Italy entitled: "Smart Building: digitisation for Net Zero", the energy transition is strongly related to the digital transition, which is identified, at the European level, as a critical step to integrating digital technologies along the entire life cycle of building processes, favouring more sustainable solutions. Moreover, at the national level, digitisation in the construction sector is emphasised with the new procurement code (Legislative Decree 36/2023). In this context, BIM emerges as a key tool (GBC Italy, 2024) to achieve the goal of climate neutrality. Similar experiences in applying methodologies to integrate BIM with the analysis of CO_{2eq} emissions in the life cycle of infrastructure (Kaewunruen *et al.,* 2020) highlight how this tool can significantly improve the management of such works in reducing environmental impact.

Why AMICO

The AMICO (Account Method of

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-16592

delle sue attività, obbligo introdotto dal D. Lgs. 254/2016, che impone di rendicontare le politiche di sostenibilità aziendale e di quantificare le emissioni generate dalle infrastrutture. Da qui, la necessità del Gruppo di dotarsi di prototipi e strumenti per la quantificazione delle emissioni generate.

AMICO: Il doppio volto dell'innovazione

L'esito della ricerca, articolata in due fasi, ha condotto allo sviluppo di uno strumento e di un protocollo per contabilizzare i cosiddetti impatti incorporati (*Embodied Energy*, EE, ed *Embodied Carbon*, EC). Più nel dettaglio:

1. AMICO *Excel*: uno strumento *Excel*, che mette in relazione distinte di materiali (merceologici, *Bill of Quantity*) con una banca dati specifica predisposta ai fini del calcolo;
2. AMICO BIM: un protocollo BIM composto da un codice VPL (Dynamo) e un foglio *excel* per effettuare il calcolo di EE ed EC direttamente all'interno dell'ambiente BIM.

AMICO Excel e AMICO BIM sono stati validati attraverso l'applicazione a casi studio reali.

L'articolo intende restituire una panoramica del funzionamento di AMICO nella sua duplice veste, evidenziandone lo stato di avanzamento. Nella prima parte vengono descritte le metodologie adottate, nella seconda si presentano i risultati ottenuti su un caso studio.

Prima fase: AMICO Excel

Stato dell'arte e quadro normativo di riferimento

Sono oggigiorno disponibili numerosi strumenti per la valutazione degli impatti ambientali nei progetti infrastrutturali basati sulla metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) (Yan J. *et al*., 2022). Nell'ambito del programma di ricerca questi strumenti sono stati analizzati in base ai seguenti criteri:

- caratteristiche di funzionamento;
- normativa di riferimento;
- confini del sistema;
- indicatori di impatto;
- database integrati.

A valle del processo analitico sono emerse alcune criticità:

1. le metodologie e i criteri di *cut-off rules* non sono sempre dichiarati o risultano poco trasparenti; questo ostacola una valutazione diretta e precisa dei risultati dello studio, rendendo complessa la comparazione tra diversi scenari;
2. l'adozione di fonti dati e metodologie di calcolo differenti portano a discrepanze tra i risultati;
3. la mancanza di una funzionalità per "geolocalizzare i dati" impedisce di considerare le specificità territoriali legate ai processi di produzione, trasporto e utilizzo dei materiali, limitando l'affidabilità e la precisione dei risultati ottenuti.

AMICO Excel si inserisce inoltre in un quadro di standard e linee guida in continua evoluzione; di seguito si riportano i riferimenti principali utilizzati:

- PAS 2080:2023 *Carbon management in buildings and infrastructures*;
- UNI EN 17472:2022 Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della sostenibilità delle opere di ingegneria civile – Metodi di calcolo;
- UNI EN 15978:2011 Sostenibilità delle costruzioni – Valutazione della prestazione ambientale degli edifici – Metodo di calcolo;

Infrastructures embodied CarbOn) project is the result of a partnership between the Webuild Group and the Polytechnic University of Turin, launched in 2021 and funded by the former MISE (Ministry of Economic Development) to develop a tool and protocol for accounting for carbon emissions and energy resource consumption of infrastructures at certain stages of their life cycle.

The Webuild Group, as an EIPR (Entity of Significant Public Interest), is required by law to prepare a Non-Financial Statement that includes an assessment of the environmental impacts of its activities. This obligation introduced by Legislative Decree 254/2016 requires accountability for corporate sustainability policies and quantification of emissions generated by infrastructure. Hence, the Group needs to equip itself with prototypes and tools for quantifying the emissions generated.

The dual AMICO innovation

The outcome of the two-phase research led to the development of a tool and protocol to account for so-called embedded impacts (Embodied Energy, EE, and Embodied Carbon, EC). In detail:

1. AMICO Excel: an Excel tool which relates bills of materials (commodity, Bill of Quantity) to a specific database prepared for calculation;
2. AMICO BIM: a BIM protocol consisting of a VPL code (Dynamo) and an Excel sheet to perform EE and EC calculations directly within the BIM environment.

AMICO Excel and AMICO BIM have been validated through application to real case studies.

The article aims to give an overview of the operation of AMICO in its dual guise, highlighting its status. The adopted methodologies are described in the first part, and results obtained from a case study are presented in the second part.

AMICO in the Excel environment

State of the art and standard framework

Numerous tools are available nowadays for assessing environmental impacts in infrastructure projects based on the Life Cycle Assessment (LCA) methodology (Yan J. *et al.,* 2022). In the research programme, these tools were analysed according to the following criteria:

- operating characteristics;
- reference regulations;
- system boundaries;
- impact indicators;
- integrated databases.

Downstream of the analytical process, some critical issues emerged:

1. the methodologies and cut-off rules and criteria are not always stated or are not very transparent; this hinders a direct and precise evaluation of the study results, making the comparison between different scenarios complex;
2. the adoption of different data sources and calculation methodologies lead to discrepancies between results;
3. the lack of a "data geolocalisation" function prevents the consideration of territorial specificities related to production processes, transportation and use of materials, limiting the reliability and accuracy of the results obtained.

01 | Interfaccia tool AMICO *Excel*
AMICO Excel tool interface

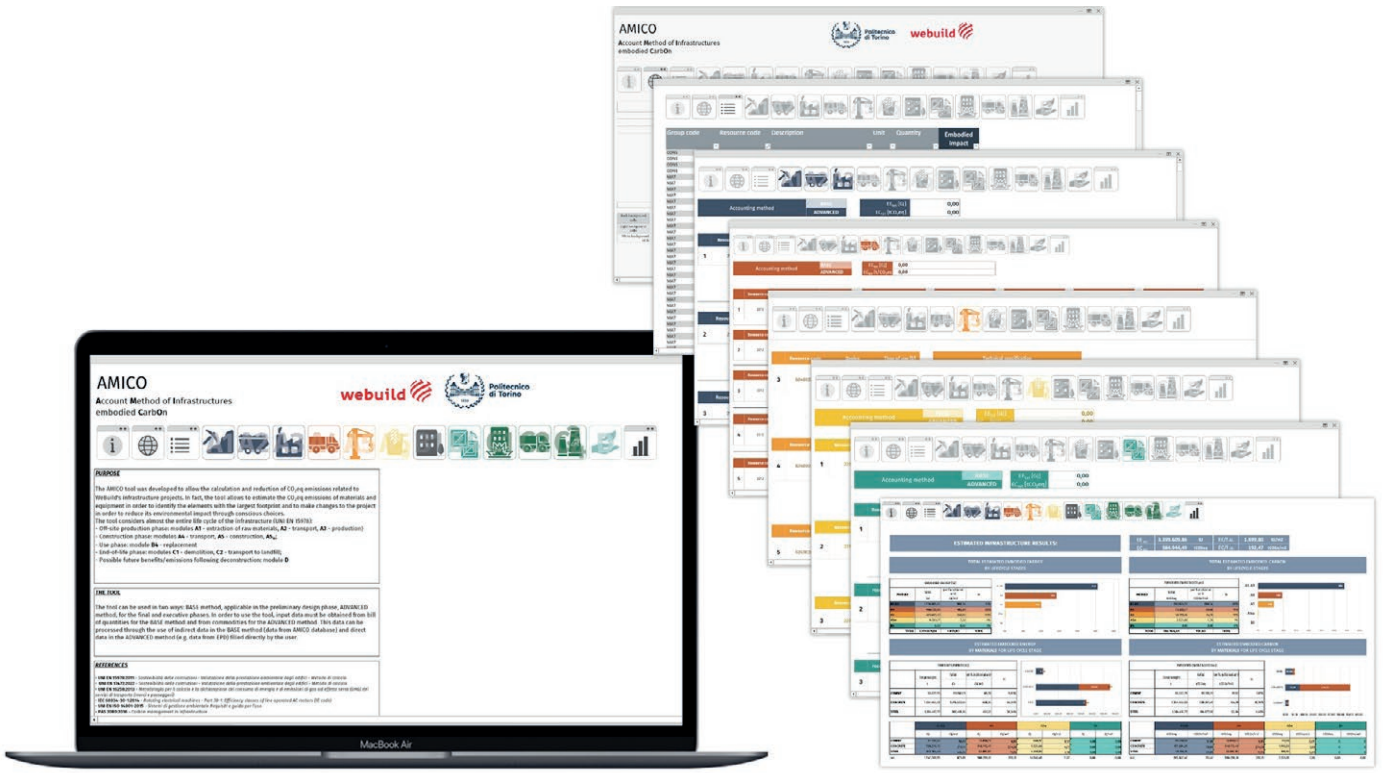
– RICS *guidelines – Whole life carbon assessment for the built environment*.

Funzionamento
La contabilizzazione degli impatti incorporati, in termini di EE ed EC si basa sull'elaborazione di dati tecnici e quantitativi, provenienti da diverse fonti, tra cui:
– Distinte di materiali (BoQ): elenchi dettagliati dei componenti necessari per il progetto e delle quantità per ogni tipologia di materiale;
– Cicli di produzione: Analisi delle fasi di lavorazione necessarie per realizzare il progetto, con indicazione delle risorse impiegate in termini di tempo e macchinari;
– Studi di dettaglio operativi: Analisi di singole attività o componenti del progetto, volte a determinare le risorse necessarie per la loro realizzazione.

La metodologia di contabilizzazione sviluppata trova riscontro nelle linee guida RICS (2023). Lo strumento AMICO è stato predisposto sotto forma di un file *Excel* composto da schede che ripropongono fasi e moduli del ciclo di vita di un'infrastruttura, come definiti dalla UNI EN 17472:2022 (Fig. 1). Al suo interno è stato integrato un database che fornisce i fattori di emissione di EE ed EC per la fase di produzione (moduli A1-A3) di una serie di materiali chiave, che sono stati identificati attraverso un processo condiviso con Webuild. Il database si distingue per la sua flessibilità e adattabilità, in quanto consente la personalizzazione dei dati in base al contesto geografico di produzione dei materiali, considerando le modalità di produzione dell'energia elettrica di ciascun Paese. Inoltre, gli utenti possono integrare ulteriori dati (provenienti da altri database) o, ove disponibili, da Dichiarazioni Ambientali di Prodotto – EPD. Gli altri moduli del ciclo di vita inclusi nel calcolo sono A4 (trasporto), A5 (costruzione) che comprende la quota di sfrido di materiale in cantiere e B4 (sostituzione).
AMICO Excel è stato infine sviluppato secondo due modalità di funzionamento: "DESIGN", per la fase di progettazione e gara; "CONSTRUCTION", per la fase di costruzione.

I risultati del calcolo
AMICO Excel restituisce una serie di grafici e tabelle che forniscono i risultati di EE ed EC così suddivisi:
– Risultati totali dell'infrastruttura [GJ; tCO_2eq] e in riferimento all'unità funzionale [GJ/u.f.; $tCO_2eq/u.f.$];
– Risultati suddivisi per modulo del ciclo di vita, che mostrano la distribuzione di EE ed EC e il contributo di ciascuna fase (produzione, trasporto, ecc.);

| 01



– Risultati suddivisi per categorie di *key material*, che mostrano la distribuzione di EE ed EC per materiale.

Seconda fase: AMICO BIM

Stato dell'arte e quadro normativo di riferimento

Negli ultimi due decenni, l'uso del *Building Information Modeling* (BIM) nel settore delle costruzioni è cresciuto significativamente, migliorando la collaborazione tra i vari attori. L'adozione del BIM è stata accelerata da normative internazionali e nazionali, come la ISO 19650 e la Direttiva 2014/24/UE sugli appalti pubblici. In Italia, l'uso del BIM è aumentato costantemente, come evidenziato da studi e rapporti come il "BIM Report 2020" di ASSOBIM, soprattutto grazie anche all'entrata in vigore di normative nazionali come il D.Lgs. n. 50 e il "Decreto BIM" (D.M. n. 560 del 1° dicembre 2017), nonché della normativa UNI 11337 e lo standard internazionale UNI EN ISO 19650:2019, che hanno formalizzato l'uso del BIM nel settore edilizio italiano. Inoltre, il decreto MIMS n. 312 del 2 agosto 2021 ha rivisto l'obbligatorietà del BIM negli appalti pubblici. In questo contesto, Webuild S.p.A. adotta procedure virtuose per la digitalizzazione delle infrastrutture, promuovendo l'uso del BIM sin dalle fasi iniziali di gara e implementando protocolli per la contabilizzazione dell'impatto ambientale.

Funzionamento

ll protocollo AMICO BIM è stato sviluppato per trasferire le metodologie dello strumento AMICO *Excel* nell'ambiente BIM. In questo caso, i dati di input vengono estratti automaticamente dal modello digitale che, tuttavia, nelle fasi preliminari spesso presenta un Livello di Dettaglio (LOD) insufficiente per un calcolo accurato dei materiali. Gli applicativi commerciali utilizzati in ambito architettonico per l'analisi della sostenibilità ambientale dei modelli BIM seguono generalmente una logica di associazione diretta tra gli elementi edilizi e i materiali a essi correlati[2]. A ciascun componente edilizio vengono associati uno o più materiali, a cui vengono attribuiti valori di EE ed EC, moltiplicati per le quantità computate nel modello.

Tuttavia, come indicato da Soust-Verdaguer, una delle sfide principali per integrare la valutazione dell'impatto ambientale con il BIM è proprio il livello di dettaglio del modello (Soust-Verdaguer *et al.,* 2017), e per questo è stata proposta una procedura alternativa: si tratta della costruzione di elementi aggregati che descrivono in modo semplificato gli elementi edilizi. In collaborazione con Webuild, è stato condotto uno studio dei codici Uniclass Ss, che ha portato all'identificazione degli elementi edilizi più comunemente utilizzati in ambito infrastrutturale. A ciascuno di essi sono stati associati percentualmente i materiali che li compongono.

Una volta effettuata questa associazione, gli algoritmi sviluppati nell'ambiente Visual Programming Language (VPL) di Dynamo consentono di associare automaticamente gli elementi aggregati agli elementi edilizi modellati. Ciò permette di superare le limitazioni derivanti da un LOD insufficiente nelle fasi iniziali del progetto, consentendo stime di EE ed EC anche in fasi preliminari, senza compromettere la tempistica o l'efficienza del processo di progettazione.

Il protocollo AMICO BIM si compone di tre elementi principali: un file Excel, un codice VPL sviluppato in Dynamo, e un *file Revit* contenente il modello oggetto dell'analisi. La corretta ese-

AMICO Excel also fits into an evolving framework of standards and guidelines; the following are the primary references used:
- PAS 2080:2023 Carbon management in buildings and infrastructures;
- UNI EN 17472:2022 Sustainability of construction – Sustainability assessment of civil engineering works – Calculation methods;
- UNI EN 15978:2011 Sustainability of construction – Assessment of the environmental performance of buildings – Calculation method;
- RICS guidelines – Whole life carbon assessment for the built environment.

How it works

Accounting for embedded impacts, in terms of EE and EC, is based on the processing of technical and quantitative data from a variety of sources, including:
- Bill of quantities (BoQ): detailed lists of components needed for the project, and quantities for each type of material;
- Production cycles: Analysis of the processing steps required to carry out the project, showing the resources used in terms of time and machinery;
- Operational detail studies: Analysis of individual activities or components of the project, aimed at determining the resources required for their implementation.

The accounting methodology developed is reflected in the RICS Guidelines (2023). The AMICO tool was prepared in the form of an Excel file composed of sheets that re-propose stages and modules of an infrastructure life cycle, as defined by UNI EN 17472:2022 (Fig. 1). Embedded within it is a database that provides EE and EC emission factors for the production stage (modules A1-A3) of several key materials, which were identified through a process shared with Webuild. The database is distinguished by its flexibility and adaptability, as it allows customisation of the data according to the geographical context of materials production, considering each country's electricity production mode. In addition, users can integrate additional data (from other databases) or, where available, from Environmental Product Declarations – EPDs. The other life cycle modules included in the calculation are A4 (transportation), A5 (construction), which includes the share of material waste on site, and B4 (replacement).

Finally, AMICO Excel was developed according to two modes of operation: "DESIGN" for the design and tender phase, and "CONSTRUCTION" for the construction phase.

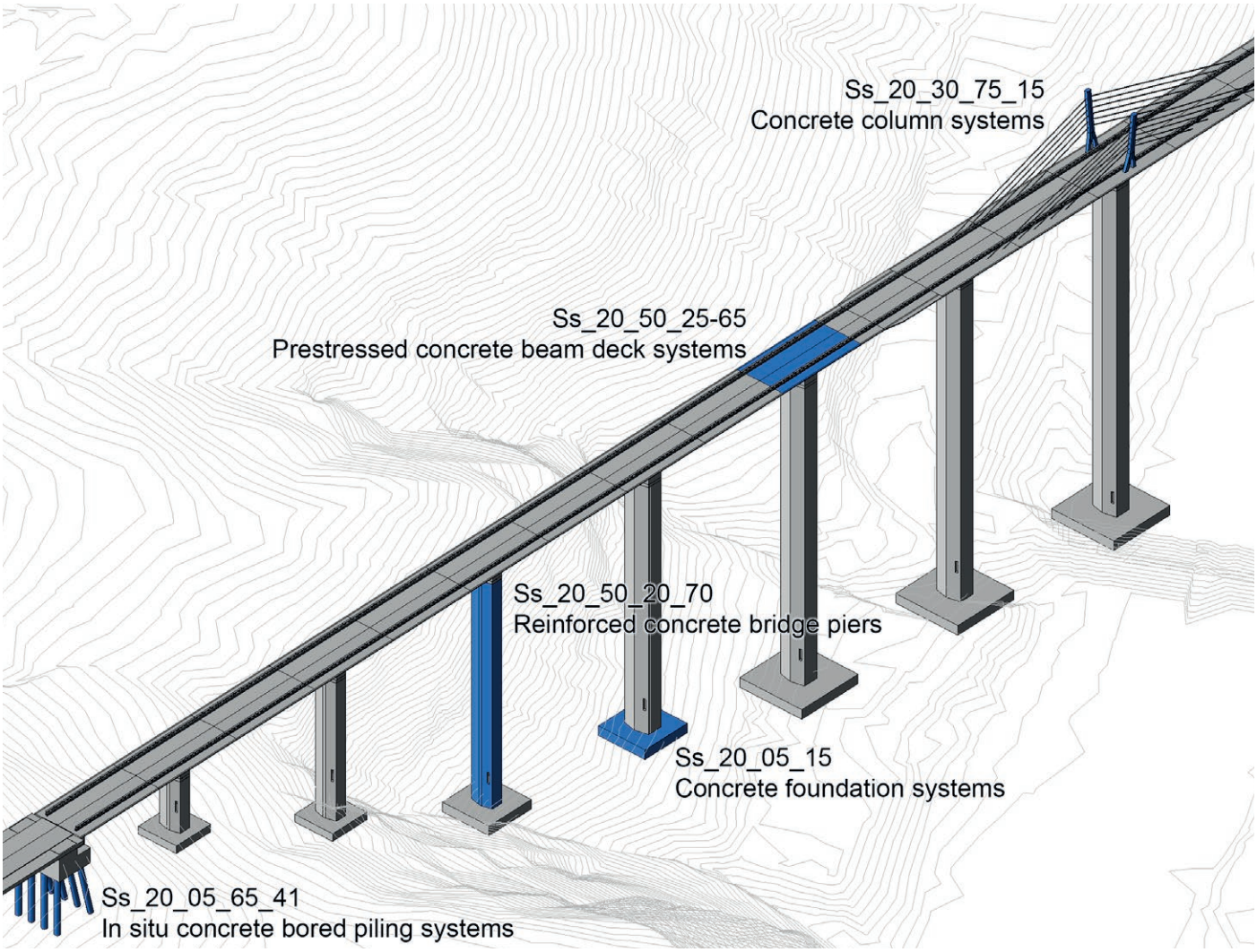
Accounting results

AMICO Excel returns a series of graphs and tables providing EE and EC results broken down as follows:
- Total infrastructure results [GJ; tCO_2eq] and regarding the functional unit [GJ/u.f.; tCO_2eq/u.f.];
- Results broken down by life cycle module, showing the distribution of EE and EC, and the contribution of each stage (production, transportation, etc.);
- Results broken down by key material categories, showing the distribution of EE and EC by material.

02 | Associazione tra elemento edilizio modellato e corrispondente codice "*UniClass Ss Systems*"
Association between the modelled building element and the corresponding "UniClass Ss Systems" code

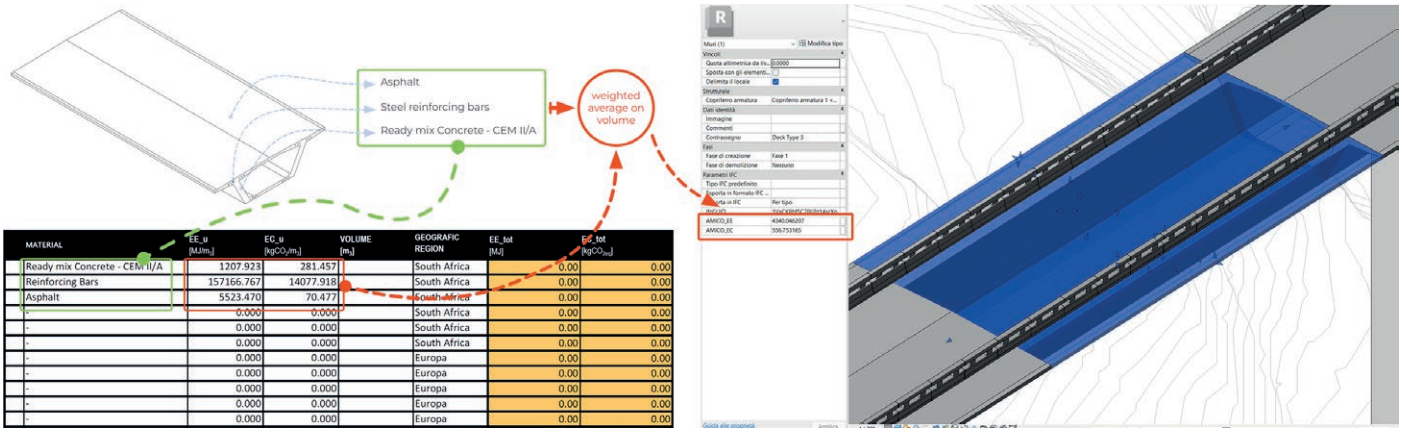
cuzione di questo protocollo richiede una stretta collaborazione tra il BIM *Specialist* e altri esperti del progetto.
In una prima fase della modellazione, all'interno del workflow di *Webuild*, il BIM S*pecialist* deve assegnare a ciascun componente edilizio del modello il corrispondente codice *UniClass (Systems*), in conformità agli standard definiti (Fig. 2). Successivamente, viene aperto il file *Excel* associato al progetto, che contiene due fogli: un database con i valori di emissione specifici dei materiali chiave, e un "foglio master" non modificabile, dove sono elencati i codici *UniClass* selezionati, ciascuno associato a tre differenti mix di materiali progettati per soddisfare vari requisiti strutturali.
Una volta completata la modellazione iniziale, è necessario avviare il codice *Dynamo*: questa procedura genera una copia del foglio master di *Excel*, in cui vengono automaticamente riportati i volumi aggregati di ciascun codice *UniClass*, precedentemente modellati in ambiente BIM. Qui, un altro specialista deve intervenire per selezionare quale tra i mix proposti sia più adeguato alle esigenze del progetto. Se necessario, qualora disponga di dati più precisi, può ulteriormente personalizzare una delle soluzioni
Successivamente, il codice *Dynamo* trasferisce le scelte effettuate nel foglio *Excel* direttamente al modello BIM, aggiornando le informazioni in modo bidirezionale (Fig. 3).
Per garantire la tracciabilità del flusso di lavoro, ogni volta che il codice *Dynamo* viene eseguito, sia per la lettura che per la scrittura delle informazioni sul *file Excel*, il sistema registra automaticamente la data e l'indirizzo *e-mail* dell'operatore.

| 02



03 | Processo di assegnazione dei materiali all'elemento *UNICLASS* attraverso il codice *Dynamo*
Process of assigning materials to the UNICLASS element using Dynamo code

03 |



MATERIAL	EE_u [MJ/m$_3$]	EC_u [kgCO$_2$/m$_3$]	VOLUME [m$_3$]	GEOGRAFIC REGION	EE_tot [MJ]	EC_tot [kgCO$_{2eq}$]
Ready mix Concrete - CEM II/A	1207.923	281.457		South Africa	0.00	0.00
Reinforcing Bars	157166.767	14077.918		South Africa	0.00	0.00
Asphalt	5523.470	70.477		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		South Africa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00
-	0.000	0.000		Europa	0.00	0.00

I risultati del calcolo
I risultati del calcolo in ambiente BIM possono essere visualizzati in forme differenti: la prima è di tipo tabellare e permette di leggere i risultati di EE ed EC associati a ciascun componente identificato da codice *Uniclass*. La seconda consiste nella possibilità di generare viste filtro all'interno dell'ambiente BIM, che permettono di visualizzare gli elementi edilizi che presentano valori critici, individuando le parti su cui intervenire per ridurre l'impatto complessivo. Oltre a facilitare la comunicazione dei risultati dell'analisi, queste viste forniscono uno strumento decisionale utile per ottimizzare le strategie progettuali (Fig. 4).

Caso studio – Ponte estradossato in Sudafrica

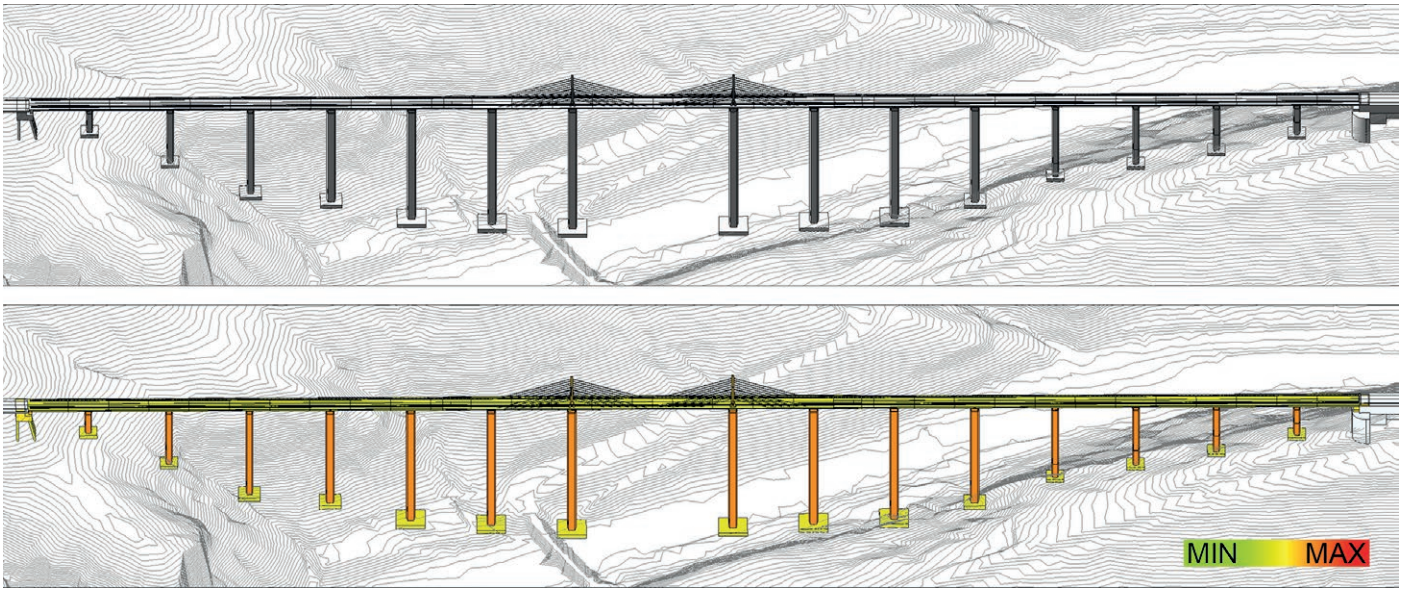
Per testare e validare AMICO *Excel* e AMICO BIM è stato scelto un progetto di Webuild per un ponte estradossato in costruzione in Sudafrica la cui finalità è il miglioramento dell'accessibilità in una regione montuosa. Il ponte è lungo 875 metri, è composto da 16 campate da 50 metri e 2 terminali da 36 metri è sostenuto da 17 pilastri alti fino a 90 metri, inoltre, include due carreggiate da 3,5 metri e passerelle pedonali larghe 2 metri, con barriere e ringhiere in calcestruzzo prefabbricato.
L'infrastruttura è dotata di un modello 3D su BIM *Revit*, dove sono disponibili adeguate informazioni per la valutazione della EE ed EC dei materiali che lo compongono.

La valutazione con AMICO Excel
AMICO Excel restituisce i risultati del caso studio considerando confini di sistema, ovvero fasi e moduli del ciclo di vita del ponte, più ampi rispetto al protocollo BIM: che comprendono: A1-A3 (produzione), A4 (trasporto), A5 (costruzione), inclusa la componente di rifiuto/sfrido generato in cantiere, denominata A5 – *waste*, e B4 (manutenzione).
Dai grafici dei risultati (Fig. 5) si può osservare che la fase del ciclo di vita con la maggiore incidenza, sia in termini di EE che di EC, è la fase di produzione (A1-A3), seguita dalla fase di trasporto (A4). L'impatto della fase di costruzione (A5) è molto ridotto rispetto a quello dei materiali e del loro trasporto, tanto da risultare quasi trascurabile, così come la componente A5w. Poiché i materiali inclusi nel calcolo non richiedono sostituzio-

Second step: AMICO in the BIM environment
Standard framework
Over the past two decades, Building Information Modelling (BIM) has grown significantly in the construction and engineering sector, improving collaboration among various stakeholders. The adoption of BIM has been accelerated by international and national regulations, such as ISO 19650 and the Public Procurement Directive 2014/24/EU. In Italy, the use of BIM has been steadily increasing, as evidenced by studies and reports such as ASSOBIM's "BIM Report 2020," mainly also thanks to the entry into force of national regulations such as Legislative Decree No. 50 and the "BIM Decree" (Ministerial Decree No. 560 of December 1, 2017), as well as UNI 11337 and the international standard UNI EN ISO 19650:2019, which have formalised the use of BIM in the Italian construction sector. In addition, MIMS Decree No. 312 of 2 August 2021 revised the mandatory use of BIM in public procurement. In this context, Webuild S.p.A. adopts virtuous procedures for the digitisation of infrastructure, promoting the use of BIM from the initial tender stages and implementing protocols for accounting environmental impact.

How it works
The AMICO BIM protocol was developed to transfer the methodologies of the AMICO Excel tool into the BIM environment. In this case, input data are automatically extracted from the digital model, which, however, in the preliminary stages, often has an insufficient Level of Detail (LOD) for accurate calculations of materials. Commercial applications used in the architectural field for environmental sustainability analysis of BIM models generally follow a rationale of direct association between building elements and their related materials[2]. Each building component is associated with one or more materials, to which EE and EC values are assigned, multiplied by the quantities computed in the model.
However, as pointed out by Soust-Verdaguer, one of the main challenges to integrating BIM with BIM is precisely the level of detail in the model (Soust-Verdaguer *et al.*, 2017). Hence, an alternative procedure has been proposed, namely the construction of aggregate elements that describe building elements in a simplified way. A study of Uniclass Ss codes was conducted in collaboration with Webuild to identify the most commonly used building elements in the infrastructure. Each of them was associated with its constituent materials in percentages.
Once this association is made, algorithms developed in Dynamo's Visual Programming Language (VPL) environment allow the aggregated elements to be automatically associated with the modelled building elements. This overcomes the limitations arising from insufficient LOD in the early stages of the project, allowing EE and EC estimates even in preliminary stages without compromising the timing or efficiency of the design process.
The AMICO BIM protocol consists of three main elements, precisely an Excel file, a VPL code developed in Dynamo, and a Revit file containing the model being analysed. The successful execution of this protocol requires close collaboration between the BIM Specialist and other project experts.
In the first step of modelling, within

04 | Vista filtro che permette di visualizzare con chiarezza valori critici associati ad elementi edilizi
Filter view that allows you to visualise critical values associated with building elements clearly



| 04

ni durante il periodo di riferimento, la fase B4, ha un impatto pari a zero. Inoltre, vengono messi in evidenza i materiali che hanno un impatto maggiore, ovvero calcestruzzo, cemento e acciaio.

La valutazione con AMICO BIM
Il protocollo AMICO BIM si focalizza sulla fase di produzione A1-A3, associando i valori di impatto ambientale agli elementi modellati.
Il primo output generato è una lista dettagliata dei materiali utilizzati, ottenuta analizzando la composizione percentuale degli elementi classificati secondo la norma Uniclass. Dai risultati emerge che calcestruzzo e acciaio sono i materiali impiegati in quantità significativamente maggiori rispetto a quelle stimate con AMICO *Excel*. Manca invece, in quanto evidentemente integrato all'interno del materiale calcestruzzo, il cemento.
Il secondo output consiste in una visualizzazione grafica che evidenzia gli elementi edilizi con il più alto impatto ambientale (Fig. 4), offrendo una rappresentazione visiva immediata delle criticità del progetto. Questa funzionalità, assente in AMICO *Excel*, si rivela fondamentale per individuare le aree su cui intervenire prioritariamente al fine di ottimizzare le scelte progettuali e ridurre l'impatto complessivo dell'infrastruttura. A differenza di AMICO *Excel*, che fornisce un conteggio aggregato dei materiali, AMICO BIM consente di localizzare con precisione l'impiego di ciascun materiale all'interno del modello.

Confronto dei risultati e discussione
Dalla comparazione dei risultati ottenuti utilizzando lo strumento *Excel* e il protocollo BIM, per le fasi A1-A3 del ciclo di

the Webuild workflow, the BIM Specialist must assign each building component of the model the corresponding UniClass (Systems) code by the defined standards (Fig.2). Next, the Excel file associated with the project is opened, which contains two sheets, namely a database with the specific emission values of the key materials, and a non-editable "master sheet" listing the selected UniClass codes, each associated with three different material mixes designed to meet various structural requirements.
Once the initial modelling is complete, the Dynamo code needs to be started. This procedure generates a copy of the Excel master sheet, where the aggregate volumes of each UniClass code, previously modelled in the BIM environment, are automatically reported. Here, another specialist must select which of the proposed mixes best suits the project's needs. If necessary, he can further customise one of the solutions, if he has more precise data.
Next, the Dynamo code transfers the choices made in the Excel sheet directly to the BIM model, updating the information bidirectionally (Fig. 3).
To ensure the traceability of the workflow, each time the Dynamo code is executed, whether reading or writing information to the Excel file, the system automatically records the date and e-mail address of the operator.

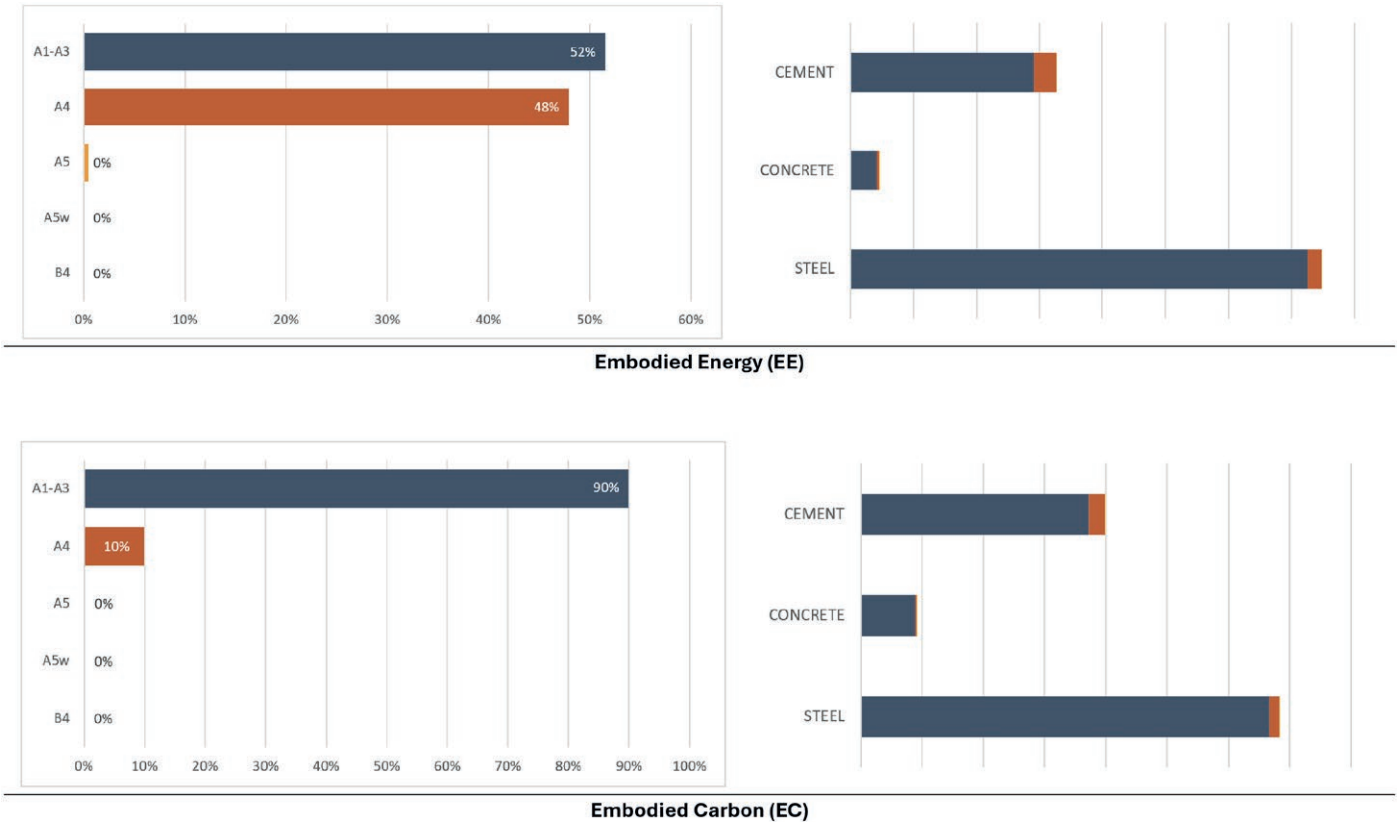
Accounting Results
The calculation results in the BIM environment can be displayed in different forms: the first is tabular. It allows reading the EE and EC results associated with each component identified by Uniclass code. The second consists of the ability to generate filter views within the BIM environment, which allows the building elements to be visualised with critical values, and the parts to be identified to intervene to reduce the overall impact. In addition to facilitating the communication of analysis results, these views provide a helpful decision-making tool for optimising design strategies (Fig. 4).

Case study – Extrados bridge in South Africa
To test and validate AMICO Excel and AMICO BIM, a project by Webuild was chosen for an extrados bridge under construction in South Africa to improve accessibility in a mountainous region.
The bridge is 875 metres long, consists of 16 spans of 50 metres and 2 end spans of 36 metres, and is supported by 17 pillars up to 90 metres high. In addition, it includes two 3.5-metre carriageways and 2-metre wide footbridges with precast concrete barriers and railings.
The infrastructure is equipped with a 3D model in BIM Revit, where adequate information is available to evaluate the EE and EC of the constituent materials.

The analysis using the AMICO Excel tool
AMICO Excel returns the results of the case study considering system boundaries, i.e. phases and modules of the bridge's life cycle, which are broader than the BIM protocol, including A1-A3 (production), A4 (transport), A5 (construction), besides the waste/waste component generated on-site, referred to as A5 – waste, and B4 (maintenance).
From the results graphs (Fig. 5), it can be seen that the life cycle stage with the

05 | Grafici con risultati di EE ed EC suddivisi per fase del ciclo di vita, estrapolati da AMICO *Excel*
Graphs with EE and EC results divided by stage of the life cycle, extrapolated from AMICO Excel

05 |



vita dell'infrastruttura, emergono significative differenze nelle valutazioni della EE ed EC.
Concentrando l'attenzione a un solo materiale, ovvero il calcestruzzo, la differenza tra le categorie di impatto elaborate con AMICO *Excel* e AMICO BIM è particolarmente significativa. il valore di EE, elaborato in ambiente BIM, è circa 17 volte superiore a quello ottenuto con il foglio di calcolo *Excel*. Un risultato analogo lo si riscontra con l'EC che è 13 volte più alta. Tuttavia, vi è da considerare che la caratterizzazione del calcestruzzo con AMICO BIM comprende l'impatto del cemento, che nel caso di AMICO *Excel* è calcolata in modo autonomo. In generale, il confronto tra i risultati ha sempre restituito delle differenze abbastanza pronunciate, da ricondurre al fatto che il protocollo BIM si basa su dati provenienti da un modello 3D, in cui sono state fatte approssimazioni sui materiali associati agli elementi strutturali. Questo comporta una minore accuratezza nella

highest impact, both in terms of EE and EC, is the production stage (A1-A3), followed by the transport stage (A4). The impact of the construction stage (A5) is minimal compared to that of materials and their transport, so it is not very important, as is the A5w component. Since the materials included in the calculation do not require replacement during the reference period, stage B4 has zero impact. In addition, the materials with the most significant impact, i.e. concrete, cement and steel, are highlighted.

The analysis through the AMICO BIM protocol
The AMICO BIM protocol focuses on the A1-A3 production stage, associating environmental impact values with the modelled elements.
The first output generated is a detailed list of materials used, obtained by analysing the percentage composition of elements classified according to the Uniclass standard. The results show that concrete and steel are used significantly more than those estimated with AMICO Excel. On the other hand, cement is missing, as it is integrated within the concrete material.
The second output is a graphic visualisation highlighting the building elements with the highest environmental impact (Fig. 4), offering an immediate visual representation of the project's critical issues. This function, which is absent in AMICO Excel, is essential for identifying the priority intervention areas to optimise design choices and reduce the overall impact of the infrastructure. Unlike AMICO Excel, which provides an aggregated material count, AMICO BIM allows the precise location of the use of each material within the model.

A comparison of results and discussion
A comparison of the results obtained using the Excel tool and the BIM protocol for phases A1-A3 of the infrastructure life cycle reveals significant differences in the evaluations of EE and EC.
Focusing on only one material, i.e. concrete, the difference between the impact categories processed with AMICO Excel and AMICO BIM is particularly significant. The EE value processed in the BIM environment is about 17-fold the one obtained with the Excel spreadsheet. A similar result is found with EC, which is 13 times higher. However, it has to be considered that the characterisation of concrete with AMICO BIM includes the impact of cement, which, in the case of AMICO Excel, is calculated independently. In general, the comparison of the results always returned somewhat pronounced differences, which can be attributed to the fact that the BIM protocol is based on data from a 3D model, in which approximations were made to the materials associated with the structural elements. This leads to lower accuracy in defining material quantities, with less precise estimates than with the Excel tool.

Conclusions
This study explores how actors within the construction industry are driving change and innovation in evaluation processes by defining and implementing new strategies and adopting digital technologies.
The interpretation of the results reveals that BIM modelling still presents some limitations, as it aggregates materials that are typically considered separately in an EE and EC account-

definizione delle quantità di materiali, con stime meno precise rispetto allo strumento *Excel*.

Conclusioni

Il lavoro di ricerca condotto è utile a comprendere quali azioni e strategie alcuni attori del processo edilizio stiano definendo e sviluppando per migliorare la qualità dei processi di valutazione e in che modo tali processi sono oggetto di una progressiva digitalizzazione.

Dall'interpretazione dei risultati si evince che la modellazione in ambiente BIM è connotata da alcuni limiti, poiché aggrega materiali che in un processo di contabilizzazione della EE e della EC sono solitamente considerati in forma separata (si veda il caso del calcestruzzo). Inoltre, non è facile procedere con l'attribuzione di informazioni relative ai processi di trasporto di materie prime e semilavorati al cantiere e, ancora, sono da esplorare le modalità con cui si possano assegnare informazioni inerenti alla manutenzione, la sostituzione e lo smaltimento finale.

AMICO BIM ha comunque delle potenzialità di sviluppo che comprendono l'adozione di formati aperti, per superare i limiti appena descritti e favorire una più efficace integrazione con AMICO *Excel*.

Sebbene contraddistinto da un livello di sviluppo maggiore AMICO *Excel* ha anch'esso necessità di implementazione che includono la caratterizzazione di altre fasi del ciclo di vita, in ottica *Whole Life Carbon*, insieme alla strutturazione di dati tramite *Work Breakdown Structures* (WBS).

Le potenzialità di sviluppo di strumenti come AMICO BIM e AMICO *Excel*, insieme all'adozione di formati aperti e di metodologie via via più standardizzate sono ancora ampie, ma ciò che conta è aver dato avvio ad attività che consentiranno ai diversi attori del processo edilizio di valutare gli impatti associati al ciclo di vita delle infrastrutture e, di pari passo, a prendere decisioni più informate per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica.

ATTRIBUZIONE E RICONOSCIMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Gruppo *Webuild* per il finanziamento del progetto e tutti gli specialisti, esperti e membri del management di Webuild per la loro collaborazione.

L'articolo è stato scritto in parti uguali dagli autori.

NOTE

[1] Si veda il report prodotto da Architecture 2030, https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/why-infrastructure/.

[2] Hawkins\Brown, *HBERT: Emissions reduction tool*, Hawkins\Brown, https://www.hawkinsbrown.com/sub-services/hbert-emissions-reduction-tool/.

[3] Lo *standard UNICLASS* differisce dalla nomenclatura definita dalla UNI 8290; si può però assumere che alcuni elementi edilizi descritti in *UNICLASS* possano essere assimilati agli elementi tecnici della 8290.

REFERENCES

Chen, S. *et al.* (2020), "Urban carbon footprints across scale: Important considerations for choosing system boundaries". *Applied Energy*, 259 (114201), p. 114201. Available at: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114201 (Accessed on 03 September 2024).

Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36, *Codice dei contratti pubblici* (2023, 13 aprile). Gazzetta Ufficiale, (77 – Supplemento Ordinario 14).

ing process (see the case of concrete). Furthermore, it is not easy to attribute information related to the transport processes of raw materials and semi-finished products to the construction site. The modalities for assigning information about maintenance, replacement, and final disposal are still to be explored.

However, AMICO BIM has potential for development that includes adopting open formats to overcome the limitations just described, and to facilitate more effective integration with AMICO Excel.

Although characterised by a higher level of development, AMICO Excel also needs implementations that include other life cycle stages in a Whole Life Carbon perspective, together with data structuring through Work Breakdown Structures (WBS).

While there is still significant potential for the development of tools like AMICO BIM and AMICO Excel and the adoption of open standards and standardised methodologies, the key achievement of this research lies in its initiation of activities that will empower stakeholders in the construction sector to evaluate the life cycle impacts of infrastructure. This will underpin informed decisions to support decarbonisation and climate neutral efforts.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Webuild Group for financing the project and all the working Webuild specialists, experts, and management members for their collaboration.

The article is written in equal parts by the authors.

NOTES

[1] See report by Architecture 2030, https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/why-infrastructure/.

[2] Hawkins\Brown, HBERT: Emissions reduction tool, Hawkins\Brown, https://www.hawkinsbrown.com/sub-services/hbert-emissions-reduction-tool/.

[3] The UNICLASS standard differs from the nomenclature defined by UNI 8290; however, it can be assumed that some building elements described in UNICLASS can be assimilated to the technical elements of 8290.

European Commission (2021), *Green Deal Europeo – Raggiungere i nostri obiettivi,* Publications Office of the European Union, Lussemburgo. Available at: https://data.europa.eu/doi/10.2775/029780 (Accessed on 05 September 2024).

Fang, Z. *et al.* (2023). "A Systematic Literature Review of Carbon Footprint Decision-Making Approaches for Infrastructure and Building Projects", *Applied Energy*, 335(120768), p. 120768. Available at: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120768 (Accessed on 03 September 2024).

Green Building Council Italia (GBC Italia) (2024), *Position Paper – Smart Building: la digitalizzazione per il Net Zero*. Available at: https://www.cognitoforms.com/GBCItalia1/SmartBuildingLaDigitalizzazionePerIlNetZero2 (Accessed on 15 November 2024)

Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., and Zhou, Z. (2020). "Sustainability-Based Lifecycle Management for Bridge Infrastructure Using 6D BIM". *Sustainability*, 12(6), p. 2436. Available at: https://doi.org/10.3390/su12062436 (Accessed on 03 September 2024).

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2023). *Whole life carbon assessment for the built environment*, 1st ed, September 2023. Available at: https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/standards/Whole_life_carbon_assessment_PS_Sept23.pdf (Accessed on 05 September 2024).

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., and García-Martínez, A. (2017), "Critical Review of BIM-Based LCA Method to Buildings", *Energy and Buildings,* 136, pp. 110-120. Available at: https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.12.009 (Accessed on 03 September 2024).

Wu, W., and Mehta, D. (2020), "Urban Infrastructure". *Urban Studies*. Oxford University Press. Available at: https://doi.org/10.1093/obo/9780190922481-0022 (Accessed on 03 September 2024).

Yan, J. *et al.* (2022), "SeeCarbon: a review of digital approaches for revealing and reducing infrastructure, building and City's carbon footprint", *IFAC-PapersOnLine*, 55(19), pp. 223-228. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.211 (Accessed on 03 September 2024).

OLTRE VS DENTRO LA DECARBONIZZAZIONE

a cura di/*edited by* **Antonella Violano,** https://orcid.org/0000-0002-5313-3988

Un Dialogo di/*A Dialogue of* **Alberto Celani**[1] con/*with* **Edward S. Rubin**[2]

Perché non si dica mai: "È così e basta!"

Antonella Violano. L'obiettivo ambizioso di un ambiente costruito decarbonizzato costituisce una delle sfide epistemologicamente più complesse e tecnicamente più ardue della contemporaneità, collocandosi all'intersezione tra l'evoluzione del concetto di sostenibilità, la riformulazione dei paradigmi economico-sociali e l'emergente consapevolezza dell'impatto sistemico delle attività antropiche sugli ecosistemi.

Se il pensiero ambientale degli esordi ha privilegiato una declinazione della sostenibilità in termini prevalentemente ecologici, focalizzandosi su strategie di riduzione degli impatti ambientali, l'orizzonte contemporaneo si è ampliato in una prospettiva olistica, abbracciando il "pensiero basato sulla natura" (Randrup *et al*., 2020) e la "resilienza trasformativa" (Asadzadeh *et al*., 2022; art. 2 del Regolamento UE 2021/241). Questi approcci si discostano dall'antropocentrismo riduzionista dello sviluppo sostenibile tradizionale, traslando il focus da mere soluzioni tecnologiche, finalizzate alla limitazione dell'impatto umano sulla biosfera, verso un paradigma che riconosce il valore ontologico degli ecosistemi e la necessità inderogabile di preservarne qualità intrinseche ed estrinseche.

L'inversione di rotta da una visione conservativa, volta alla riduzione del danno ambientale, a un approccio rigenerativo, mirante al ripristino della biodiversità e alla valorizzazione degli asset ecologici, trova riscontro nelle più recenti strategie regolatorie internazionali. L'Unione Europea, con il Green Deal e le direttive che sanciscono il passaggio alla "carbon neutrality" e all'approccio "Nature Positive", ha istituito una governance normativa che impone obiettivi cogenti di preservazione e rigenerazione degli ecosistemi compromessi dall'azione antropica. Questo cambio di paradigma sollecita un ripensamento radicale dei modelli insediativi e delle strategie di progettazione dell'ambiente costruito, superando la logica emergenziale e settoriale delle politiche di efficientamento energetico per abbracciare una visione sistemica e integrata (Tucci *et al*., 2024), capace di riconciliare esigenze abitative, tutela dell'identità territoriale e salvaguardia del patrimonio ambientale.

La questione della decarbonizzazione, tuttavia, non può esaurirsi in un dibattito meramente tecnico o normativo: essa interpella, in modo stringente, le implicazioni sociali ed economiche della transizione ecologica (Madadizadeh *et al*., 2024). L'emergenza climatica e le politiche di riconfigurazione della sostenibilità incidono sulle dinamiche urbane e territoriali, particolarmente nei contesti caratterizzati da un patrimonio edilizio in parte vetusto e in parte di pregio storico-architettonico, oltre che da condizioni di vulnerabilità socioeconomica.

La sostenibilità, per sua natura intrinsecamente multidimensionale, non può essere ridotta a un'istanza esclusivamente ecologica, ma deve integrare le variabili sociali ed economiche e la povertà energetica rappresenta una delle più drammatiche distorsioni di una transizione ecologica che, se non governata con equità e visione sistemica, rischia di esasperare le disuguaglianze socio-territoriali.

In questo quadro, Rubin sottolinea la necessità di metriche che siano realistiche, recepibili dal mercato, adattabili ai contesti e capaci di riflettere le specificità territoriali. Il rischio insito nell'adozione acritica di standard globali risiede nella loro ap-

BEYOND VS. WITHIN DECARBONISATION

"You shouldn't just say that it is so and that's it!"

Antonella Violano: The ambitious goal of a decarbonized built environment constitutes one of the most epistemologically complex and technically challenging issues of our time, situated at the intersection of the evolving concept of sustainability, the reformulation of socio-economic paradigms, and the emerging awareness of the systemic impact of human activities on ecosystems.

While early environmental thinking favored a predominantly ecological interpretation of sustainability, focusing on strategies to reduce environmental impacts, the contemporary horizon has expanded into a holistic perspective, embracing "nature-based thinking" (Randrup *et al*., 2020) and "transformative resilience" (Asadzadeh *et al*., 2022; Article 2 of EU Regulation 2021/241). These approaches diverge from the reductionist anthropocentrism of traditional sustainable development, shifting the focus from mere technological solutions aimed at limiting human impact on the biosphere, towards a paradigm that recognizes the ontological value of ecosystems and the imperative need to preserve their intrinsic and extrinsic qualities.

The shift from a conservative vision aimed at reducing environmental damage to a regenerative approach aimed at restoring biodiversity and enhancing ecological assets is reflected in the most recent international regulatory strategies. The European Union, with the Green Deal and directives that establish the transition to "carbon neutrality" and the "Nature Positive" approach, has instituted a regulatory governance that imposes binding objectives for the preservation and regeneration of ecosystems compromised by human action. This paradigm shift calls for a radical rethinking of settlement models and strategies for designing the built environment, moving beyond the emergency and sectoral logic of energy efficiency policies to embrace a systemic and integrated vision (Tucci *et al*., 2024), capable of reconciling housing needs, protection of territorial identity, and safeguarding of environmental heritage. The issue of decarbonization, however, cannot be reduced to a merely technical or regulatory debate: it urgently addresses the social and economic implications of the ecological transition (Madadizadeh *et al*., 2024). The climate emergency and policies reconfiguring sustainability affect urban and territorial dynamics, particularly in contexts characterized by a building stock that is partly outdated and partly of historical-architectural value, as well

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17674

plicazione avulsa dalle peculiarità locali, con effetti potenzialmente distorsivi quali l'inasprimento del costo della vita e la riduzione della qualità abitativa per le fasce più vulnerabili. Le strategie di decarbonizzazione, quindi, vanno declinate e attuate con approccio glocal, riconoscendo la complessità dei sistemi insediativi e adottando strumenti flessibili, contestuali e adattabili alle contingenze territoriali e al mercato.

Il valore delle scelte consapevoli e della responsabilità personale si configura, in questo scenario, quale imprescindibile catalizzatore del cambiamento (Mussinelli *et al*., 2022). In un contesto nel quale l'individuo può percepire un senso di impotenza di fronte all'imponenza delle sfide globali, ogni decisione assunta a livello individuale e collettivo assume una valenza determinante. La consapevolezza di essere parte integrante di un sistema complesso e interconnesso impone l'adozione di un approccio proattivo, che trascenda la mera conformità formale alle normative, per tradursi in un impegno sostanziale nella costruzione di un futuro più equo e sostenibile.

Il coraggio di "guardare oltre la siepe" si configura come la chiave per superare le barriere epistemologiche, culturali e operative che ostacolano il cambiamento e perpetuano modelli insostenibili.

La decarbonizzazione dell'ambiente costruito non può essere raccontata come un esercizio tecnico o il rispetto di norme; richiede un ripensamento strutturale dei modelli di sviluppo e una capacità di mediazione tra interessi divergenti. È essenziale superare la dicotomia, spesso artificiosa, tra sostenibilità e comfort, tra efficienza energetica e sufficienza delle risorse utilizzate (Nikolova and Ness, 2022), tra rispetto degli standard e tutela identitaria, adottando un approccio capace di mettere al centro il benessere della collettività nel rispetto del contesto ambientale e socio-culturale.

Sebbene il traguardo possa apparire distante e di ardua realizzazione, ogni passo compiuto nella giusta direzione concorre a plasmare un cambiamento tangibile e misurabile. Ogni scelta consapevole, anche la più circoscritta, rappresenta un tassello fondamentale nel mosaico della transizione ecologica, contribuendo alla creazione di un ambiente costruito resiliente, equo e sostenibile (Folke, 2006). La transizione ecologica, lungi dall'essere una mera questione tecnica o normativa, è una sfida eminentemente culturale e politica, che impone il coinvolgimento attivo di tutti i soggetti della società civile. Solo mediante un approccio integrato, olistico e partecipativo sarà possibile trasformare la crisi ambientale in un'opportunità per ridefinire il nostro rapporto con la natura e con noi stessi. Il confronto con le riflessioni di Ed Rubin e Alberto Celani evidenzia la centralità della rielaborazione critica e del dibattito aperto quale strumento fondamentale per affrontare le criticità della transizione ecologica.

***Alberto Celani**. Ci sono momenti nella vita di un ricercatore nei quali ci si imbatte in persone, temi e sistemi di competenze diverse da quelle che avrebbero potuto essere i punti fermi caratterizzanti il proprio percorso di crescita scientifica. Fortunatamente la "generazione Erasmus", di cui faccio parte, ha avuto la possibilità di viaggiare ed entrare in contatto con sistemi culturali anche molto diversi tra loro e il senso di comunità che germoglia quando si è all'estero per svolgere attività di ricerca si traduce in contatti e stimoli, in domande e dubbi che generano un modo diverso di vedere e valutare i fenomeni indagati.*

as by conditions of socio-economic vulnerability.

Sustainability, intrinsically multidimensional by nature, cannot be reduced to an exclusively ecological issue but must integrate social and economic variables. Energy poverty represents one of the most dramatic distortions of an ecological transition that, if not governed with equity and a systemic vision, risks exacerbating socio-territorial inequalities.

In this context, Rubin emphasizes the need for metrics that are realistic, acceptable to the market, adaptable to contexts, and capable of reflecting territorial specificities. The risk inherent in the uncritical adoption of global standards lies in their application detached from local peculiarities, with potentially distorting effects such as increased cost of living and reduced housing quality for the most vulnerable groups. Decarbonization strategies, therefore, must be articulated and implemented with a glocal approach, recognizing the complexity of settlement systems and adopting flexible tools that are contextual and adaptable to territorial contingencies and the market.

The value of conscious choices and personal responsibility is configured, in this scenario, as an essential catalyst for change (Mussinelli *et al*., 2022). In a context where the individual may perceive a sense of powerlessness in the face of imposing global challenges, every decision made at the individual and collective level assumes a determining value. The awareness of being an integral part of a complex and interconnected system imposes the adoption of a proactive approach that transcends mere formal compliance with regulations, to translate into a substantial commitment to building a more equitable and sustainable future.

The courage to "look beyond the hedge" is configured as the key to overcoming the epistemological, cultural, and operational barriers that hinder change and perpetuate unsustainable models.

***Alberto Celani:** There are moments in a researcher's life when one encounters people, themes, and systems of expertise different from those that could have been the defining points of one's scientific growth path. Fortunately, the "Erasmus generation," of which I am a part, has had the opportunity to travel and encounter cultural systems that are very different from each other. The sense of community that blossoms when one is abroad to conduct research translates into contacts and stimuli, into questions and doubts that generate a different way of seeing and evaluating the phenomena under investigation. I approached this dialogue with the attentive gaze of someone who, after ten years of studying sustainability issues, had the opportunity to have a formalized conversation with a person who has now become a friend, whom I met following a long visiting experience in Spain. For many days, I thought, along with my friend Giovanni Castaldo, who helped me with this project, about the message that Nobel Prize winner Ed Rubin wanted to leave us in this long interview, and especially how to convey it to TECHNE readers without distorting any of his thoughts.*

It is indeed difficult to summarize the many insights that emerged in the dialogue from a figure like Ed Rubin, who was among the first to theorize the now mainstream idea of "climate change" and who has trained and worked as a professor and communicator for more

Mi sono approcciato a questo dialogo con lo sguardo attento di chi, dopo dieci anni di studi sui temi della sostenibilità, ha avuto l'occasione di poter avere un colloquio formalizzato con una persona ormai amica, conosciuta a seguito di una lunga esperienza di visiting in Spagna. Per molti giorni ho pensato, anche con l'amico Giovanni Castaldo, che mi ha aiutato in questo progetto, al messaggio che il Premio Nobel Ed Rubin ha voluto lasciarci in questa lunga intervista, e soprattutto al modo in cui riportarlo ai lettori di TECHNE, senza stravolgere nessuno dei suoi pensieri.
È infatti difficile sintetizzare i tantissimi spunti emersi nel dialogo da una figura come quella di Ed Rubin, che ha teorizzato tra i primi l'idea – adesso mainstream – di "cambiamento climatico" e che si è formata e ha lavorato come docente e divulgatore per più di cinquanta anni in un "universo" diverso dal nostro.
Siamo partiti da una riflessione attorno all'idea di sostenibilità, chiedendoci se e come la sua originale concezione fosse cambiata nel tempo, e se sia riconoscibile un effettivo avanzamento negli studi scientifici e nelle pratiche operative. Un po' come se mi sentissi in dovere di chiedermi se la nostra generazione avrebbe dovuto curare in maniera diversa un tema fondamentale per la vita delle persone sul Pianeta, difendendolo dalla banalizzazione con cui viene trattato dai social media, aprendolo di fatto al diritto di opinione di tutti, estraendolo dal contesto scientifico. "Ed, …Abbiamo tradito la tua idea originale?". Il nostro dialogo inizia qui.
L'Italia sta uscendo da un periodo di sperimentazione doloroso per i conti pubblici: l'incentivazione integrale degli interventi per l'efficientamento energetico dell'edilizia privata. Allo stesso tempo, l'Europa ha varato la direttiva "case green" che prevede: «Sempre secondo la posizione del PE (Parlamento Europeo), gli edifici residenziali dovranno raggiungere, come minimo, la classe di prestazione energetica E entro il 2030, e D entro il 2033. Per gli edifici non residenziali e quelli pubblici il raggiungimento delle stesse classi dovrà avvenire rispettivamente entro il 2027 (E) e il 2030 (D). Per prendere in considerazione le differenti situazioni di partenza in cui si trovano i parchi immobiliari nazionali, nella classificazione di efficienza energetica, che va dalla lettera A alla G, la classe G dovrà corrispondere al 15% degli edifici con le prestazioni energetiche peggiori in ogni Stato membro» (Direttiva 2024/1275/UE). Seppure siano ancora in corso i negoziati con i singoli Stati Membri per l'attuazione della direttiva, si chiede ai singoli Stati di intervenire sulla mitigazione sociale degli effetti della stessa, prendendo in considerazione misure per la povertà energetica, dando facoltà agli Stati di escludere, oltre ai Monumenti anche gli edifici di edilizia residenziale pubblica se gli interventi possono avere come effetto un aumento dei canoni di affitto.
Bastone o carota?

Edward S. Rubin Cosa direste voi, ragazzi, se ci fosse un'allerta imminente per la salute pubblica riguardo l'acqua potabile? Come reagireste nei confronti delle entità che amministrano, forniscono, certificano, garantiscono questo bene per il cittadino? Bisogna agire imponendo standard e punendo le non conformità, stabilendo standard e facendo rispettare in maniera stringente chi non li rispetta. Lo standard deve diventare legge. Il tema della differenza di potenziale di adeguamento da parte dei diversi Paesi o delle diverse entità o della diversa capacità di investimento del singolo va colmato dallo Stato, incentivando chi oggettivamente non può in relazione a vincoli di budget, ma punendo chi potrebbe investire ma non lo fa.

than fifty years in a "universe" different from ours.
We started with a reflection on the idea of sustainability, asking ourselves if and how its original conception had changed over time, and if there is a recognizable advancement in scientific studies and operational practices. It was a bit as if I felt obliged to ask myself if our generation should have treated a fundamental theme for people's lives on the Planet differently, defending it from the trivialization with which it is treated by social media, effectively opening it to everyone's right to an opinion, extracting it from the scientific context.
"Ed, …Have we betrayed your original idea?" Our dialogue begins here.
Italy is emerging from a period of experimentation that has been painful for public finances: the full incentivization of interventions for energy efficiency in private buildings. At the same time, Europe has launched the "green homes" directive which provides: «According to the EP (European Parliament) position, residential buildings will have to reach, at a minimum, energy performance class E by 2030, and D by 2033. For non-residential and public buildings, the achievement of the same classes must occur by 2027 (E) and 2030 (D) respectively. To take into account the different starting situations of national building stocks, in the energy efficiency classification, which ranges from letter A to G, class G should correspond to 15% of the buildings with the worst energy performance in each Member State» (Directive 2024/1275/EU). Although negotiations are still ongoing with individual Member States for the implementation of the directive, Member States are asked to intervene on the social mitigation of its effects, taking into consideration measures for energy poverty, giving States the option to exclude, in addition to Monuments, also public residential buildings if the interventions may result in an increase in rent.
Carrot or stick?

Edward S. Rubin: What would you say, guys, if there was an imminent public health alert regarding drinking water? How would you react towards the entities that administer, provide, certify, and guarantee this resource for citizens? We must act by imposing standards and punishing non-compliance, establishing standards and strictly enforcing them against those who don't comply. The standard must become law. The issue of the difference in adaptation potential among different countries or entities or the varying investment capacity of individuals must be bridged by the State, incentivizing those who objectively cannot invest due to budget constraints, but punishing those who could invest but don't.

A.C. *The world is reacting to climate change appeals, each of us is aware of the risks of excessive use of resources. Scientific research is active on Sustainability fronts, there are degree courses, and the evaluation of scientific production includes reward systems if ESG criteria are taken into account, for example. We live in a world sensitive to decarbonization. Architectural Technology, in its various aspects, is contributing at the level of scientific production, projects, and training to promote decarbonization (Lavagna, 2022) and spread the technological culture of rational use of resources. The constant debate between Economics (Weitzman, 1997) and Architectural Technology converges on the need to understand all factors contributing to*

A.C. *Il mondo sta reagendo agli appelli sul cambiamento climatico, ognuno di noi è cosciente dei rischi di un uso smodato delle risorse. La ricerca scientifica è attiva sui fronti della Sostenibilità, ci sono corsi di Laurea e la valutazione della produzione scientifica prevede dei sistemi premiali se si tiene in considerazione dei criteri ESG, per esempio. Viviamo in un mondo sensibile alla decarbonizzazione. La Tecnologia dell'Architettura nelle sue diverse anime sta fornendo un contributo a livello di produzione scientifica, di progetti e formazione per cercare di promuovere la decarbonizzazione (Lavagna, 2022) e diffondere la cultura tecnologica dell'uso razionale delle risorse. Il dibattito costante tra Economia (Weitzman, 1997) e Tecnologia dell'Architettura converge sulla necessità di comprendere tutti i fattori che contribuiscono all'impronta delle attività umane nell'ambiente costruito, considerandone il ciclo di vita dei processi e non solo i contributi puntuali. Cosa c'è, Ed, oltre la decarbonizzazione?*

E.S.R. Il tema dell'inclusività delle misure va interpretato pensando a quello che si intende come decarbonizzazione, una parola che racchiude diversi concetti diversi tra loro ma che la trivializzazione data dalla necessità di portare i temi all'attenzione del grande pubblico ha voluto rappresentare come un unico tema. Questo porta a pensare le comunità in un'ottica di "oltre la decarbonizzazione", come se ci fossero un prima e un dopo, un risolto e un da risolvere, un AS-IS e un TO-BE. In realtà siamo molto lontani da una situazione di stabilità, perché non abbiamo ancora ben analizzato, interpretato e compreso le diverse anime di quello che adesso si chiama decarbonizzazione e che in realtà a volte significa tecnologie per il sequestro della CO_2, altre volte riduzione dell'impronta di carbonio, altre ancora sostenibilità, o neutralità, o emissioni zero, e così via. I termini nascondono concetti totalmente diversi tra loro e andrebbero analizzati come temi singoli, in ogni loro aspetto, coinvolgendo tutte le discipline della scienza e della ricerca in un dibattito che possa portare a delle soluzioni, anche e soprattutto tecnologiche e di comportamento.

A.C. *La necessità di comprendere però le esigenze di tutti, pensando al tema della povertà energetica e dell'inclusività è un tema che in Europa sentiamo come stringente, anche alla luce dell'incremento dei prezzi delle materie prime per il riscaldamento (EC, 2022). I programmi europei stanno timidamente pensando negli ultimi anni a questo tema, cercando di tamponare le situazioni contingenti con finanziamenti strategici che purtroppo faticano a raggiungere le famiglie. L'aumento dei costi della materia energetica, la presenza di uno stock residenziale inefficiente, l'alto grado di alloggi di proprietà in Italia sono un mix difficilmente risolvibile allo stato attuale della tecnologia che è chiamata a pensare soluzioni che rendano i consumi delle abitazioni più contenuti sia al livello delle tecnologie passive che attive, sia al livello di retrofitting sostenibile. In questo caso la sostenibilità deve essere considerata anche nei suoi termini economici: le soluzioni devono essere innovative, standardizzate, economicamente sostenibili e devono poter compensare con una maggior efficienza i costi lievitati delle materie prime. La finanza ha un ruolo fondamentale in questo processo, deve essere al servizio della ricerca di soluzioni di Tecnologia dell'Architettura nel senso più classico del termine e deve abilitare i processi funzionali alla sostenibilità economica. Il Trade-Off tra comfort e*

the footprint of human activities in the built environment, considering the life cycle of processes and not just specific contributions. Ed, what's beyond decarbonization?

E.S.R. The issue of inclusivity of measures should be interpreted by thinking about what is meant by decarbonization, a word that encompasses several different concepts but which the trivialization given by the need to bring issues to public attention has wanted to represent as a single theme. This leads to thinking about communities in a "beyond decarbonization" perspective, as if there were a before and after, a resolved and an unresolved, an AS-IS and a TO-BE. In reality, we are very far from a stable situation, because we haven't yet well analyzed, interpreted, and understood the different aspects of what is now called decarbonization and which actually sometimes means technologies for CO_2 sequestration, other times reduction of carbon footprint, still others sustainability, or neutrality, or zero emissions, and so on. The terms hide totally different concepts and should be analyzed as individual themes, in all their aspects, involving all disciplines of science and research in a debate that can lead to solutions, including and especially technological and behavioral ones.

A.C. *The need to understand everyone's needs, considering the issue of energy poverty and inclusivity, is a pressing topic in Europe, especially considering the increase in prices of raw materials for heating (EC, 2022). European programs have been timidly thinking about this issue in recent years, trying to address contingent situations with strategic funding that unfortunately struggles to reach families. The increase in energy costs, the presence of an inefficient residential stock, and the high degree of owner-occupied housing in Italy are a mix that is difficult to resolve with the current state of technology. Technology is called upon to think of solutions that make housing consumption more contained, both at the level of passive and active technologies, and at the level of sustainable retrofitting. In this case, sustainability must also be considered in economic terms: solutions must be innovative, standardized, economically sustainable and must be able to compensate for the increased costs of raw materials with greater efficiency. Finance plays a fundamental role in this process; it must be at the service of research for Architectural Technology solutions in the most classical sense of the term and must enable processes functional to economic sustainability. The trade-off between comfort and savings needs to be rewritten, as does the issue of subsidies for efficiency improvements; what do you think?*

E.S.R. Speaking of trade-offs, in a society in continuous development, not only economic but also in terms of sensitivity, we must think about the issue of sustainability in its complexity and entirety. Regarding the economic sustainability of solutions, we can look at the Italian experience of the national intervention plan on private heritage for raising the energy classes of buildings, supported by massive public funding. In this case, we see how it is necessary to think about sustainability in all its aspects, not just green sustainability. Looking instead at social sustainability, there is a need to guarantee greater comfort to all citizens, considering all the surrounding parameters, limitations, and impacts. We cannot

risparmio va riscritto così come va riscritto il tema delle sovvenzioni per l'efficientamento; cosa ne pensi?

E.S.R. Parlando di trade-off, in una società in continuo sviluppo, non solo economico ma anche di sensibilità, bisogna pensare al tema della sostenibilità nella sua complessità e interezza. Per quanto concerne la sostenibilità economica delle soluzioni, si può guardare all'esperienza italiana del piano nazionale di intervento sul patrimonio privato per l'innalzamento delle classi energetiche degli edifici, sostenuto da un massiccio finanziamento pubblico. In questo caso si vede come sia necessario pensare alla sostenibilità in ogni suo aspetto, non solo alla sostenibilità green. Guardando invece alla sostenibilità sociale, esiste la necessità di garantire un maggior comfort a tutti i cittadini, considerando tutti i parametri al contorno, le limitazioni e gli impatti. Non si può scindere la lettura dei fenomeni senza leggerne la complessità e rimanendo fedeli alla necessità scientifica di togliersi dagli errori della semplificazione dei problemi, che porta a perdere degli elementi importanti, così per leggere i fenomeni della Sostenibilità solo in ottica green.
Ritornando al tema dell'inclusione, chi ne ha le possibilità deve investire in qualcosa che appartiene alla sfera del bene comune, chi non può deve essere messo nelle condizioni di non perdere terreno e di non rinunciare ai parametri minimi di comfort, per esempio. Questa è la vera Sostenibilità.

A.C. *L'Europa è caratterizzata da un patrimonio storico preminente e gli Stati Uniti da un patrimonio costruito più recente e tecnologicamente non comparabile con il nostro; ma molti dei metodi e modelli per il controllo degli effetti sull'ambiente sono apparentemente scollegati dalla comprensione di una diversa condizione tecnologica del patrimonio. In un mondo costruito fatto di un patrimonio diffuso e articolato, di siti storici che spesso sono nati prima delle stesse nazioni come le intendiamo oggi, è difficile coniugare gli aspetti di decarbonizzazione, efficientamento energetico, sostenibilità, economia circolare, ecc., senza ragionare sull'idea di ciclo di vita. Nel Vecchio Continente siamo molto bravi a considerare l'immobile come un gioiello di famiglia, che si tramanda di generazione in generazione, che si lucida e si rende funzionale ogni generazione che, via via nel tempo, ha la possibilità di utilizzarlo. Questo ha generato l'idea che un immobile come l'Arena di Verona, ad esempio, continui a sostenere una ricca stagione concertistica anche nel ventunesimo secolo. Detto questo ho l'impressione che ci stiamo perdendo qualcosa.*

E.S.R. Quello che dovete pensare è se e come gli standard di qualità del patrimonio, intesi come standard di efficienza del bene, possano e debbano ricomprendere aspetti quali ad esempio la ricerca dei materiali più efficienti, seguendo l'evoluzione e l'adattamento dei sistemi di rating, in modo da considerare l'intero ciclo di vita dell'edificio, e non solo una fotografia temporalmente predefinita.
È importante che metriche siano realistiche, funzionali e applicabili sul territorio, e la politica deve vigilare, incentivare, distinguere, e punire i comportamenti non corretti.

A.C. *Certo occorre considerare il peso della differenza culturale tra l'approccio europeo-mediterraneo e quello nordamericano nella gestione della vita dell'uomo nell'ambiente costruito, che si*

separate the reading of phenomena without reading their complexity and remaining faithful to the scientific need to avoid the errors of simplifying problems, which leads to losing important elements, as in reading Sustainability phenomena only from a green perspective.
Returning to the theme of inclusion, those who have the means must invest in something that belongs to the sphere of the common good, while those who cannot, be put in a position not to lose ground and not to give up the minimum parameters of comfort, for example. This is true Sustainability.

A.C. *Europe is characterized by a prominent historical heritage and the United States by a more recent and technologically incomparable built heritage; but many of the methods and models for controlling environmental effects are disconnected from understanding a different technological condition of the heritage. In a built world made up of a widespread and articulated heritage, of historical sites that often were born before the nations themselves as we understand them today, it is difficult to combine aspects of decarbonization, energy efficiency, sustainability, circular economy, etc., without reasoning about the idea of life cycle. In the Old Continent, we are very good at considering real estate as a family jewel, passed down from generation to generation, polished and made functional by each generation that, over time, has the opportunity to use it. This has generated the idea that a property like the Arena di Verona, for example, continues to support a rich concert season even in the twenty-first century. Having said that, I have the impression that we're missing something.*

E.S.R. What you need to think about is whether and how heritage quality standards, understood as asset efficiency standards, can and should include aspects such as the search for more efficient materials, following the evolution and adaptation of rating systems, in order to consider the entire life cycle of the building, and not just a predefined temporal snapshot.
It's important that metrics are realistic, functional, and applicable to the territory, and policy must monitor, incentivize, distinguish, and punish incorrect behaviors.

A.C. *Certainly, we need to consider the weight of the cultural difference between the European-Mediterranean approach and the North American one in managing human life in the built environment, which is reflected in the management of resource consumption, because the relationship with consumption is different.*
It's interesting to note, consequently, how much the environmental certification system is a product of the culture that theorizes and makes it a commercial product in itself, and how much a different vision in the exercise of controlling metrics that define the performance of the Built Environment is noticeable from an interview of this type.
The crucial point lies in this passage: we live in a built environment made up of a heritage stratified over centuries, and we approach performance control with systems and metrics created for other realities and other heritage profiles. The need to formulate control systems that consider the diversity of the built environment in various regions of the world can lead us to the need to establish local rating systems, then having to manage the need for standardization.
The new laws of the European common

rispecchia nella gestione del consumo delle risorse, perché diverso è il rapporto con il consumo.
È interessante notare, di conseguenza, quanto il sistema delle certificazioni ambientali sia figlio della cultura che le teorizza e le rende prodotto commerciale in sé e quanto si noti da un'intervista di questo tipo la differente visione nell'esercizio del controllo delle metriche che definiscono le prestazioni dell'Ambiente Costruito. Il punto cruciale sta in questo passaggio, viviamo in un ambiente costruito fatto da un patrimonio stratificato nei secoli e ci approcciamo al controllo delle prestazioni con sistemi e metriche creati per altre realtà e per altri profili di patrimonio. La necessità di formulare sistemi di controllo che tengano conto della diversità dell'ambiente costruito nelle varie regioni del mondo può portarci alla necessità di stabilire sistemi di rating locali, dovendo gestire poi la necessità di standardizzazione.
Le nuove leggi del mercato comune europeo impongono dei cambiamenti. Abbiamo la necessità di spostare la riflessione su quello che va "oltre l'idea corrente di decarbonizzazione", inteso come quello che va oltre il concetto di decarbonizzazione attuale, massivo e standardizzato, oltre quello che gli attuali meccanismi di controllo intercettano.
Il fine deve essere l'inserimento di categorie prestazionali più consone a realtà tipologiche come le nostre, ripensando i sistemi di controllo utilizzati e trovando uno spazio per i comportamenti dell'uomo che vive gli edifici e gli spazi della città?
Riportare l'uomo al centro del sistema può definire l'essenza di quello che si intende come "l'oltre la decarbonizzazione", un ambito nel quale l'uomo vive in armonia con l'ambiente, attraverso un uso consapevole delle risorse, avvalendosi di mezzi tecnologici e investimenti per non dover rinunciare al proprio comfort e soprattutto contribuendo con i propri comportamenti virtuosi all'eliminazione degli sprechi, preservando il diritto di tutti a poter vivere una vita dignitosa.

market impose changes. We need to shift the reflection on what goes "beyond the current idea of decarbonization," understood as what goes beyond the current concept of massive and standardized decarbonization, beyond what current control mechanisms intercept.
The aim should be to insert performance categories more suited to typological realities like ours, rethinking the control systems used and finding a space for the behaviors of people who live in buildings and city spaces?
Bringing humans back to the center of the system can define the essence of what is meant by "beyond decarbonization," an area in which humans live in harmony with the environment, through conscious use of resources, using technological means and investments to not have to give up their comfort and especially contributing with their virtuous behaviors to the elimination of waste, preserving everyone's right to live a dignified life.

NOTES

[1] Alberto Celani is Assistant Professor at Politecnico di Milano.

[2] Edward S. Rubin is Emeritus Professor of Environmental Engineering and Science at Carnegie Mellon University. Premio Nobel per la Pace.

NOTE

[1] Alberto Celani è Ricercatore del Politecnico di Milano.

[2] Edward S. Rubin è Emeritus Professor of Environmental Engineering and Science at Carnegie Mellon University. Premio Nobel per la Pace.

REFERENCES

Asadzadeh, A., Khavarian-Garmsir, A.R., Sharifi, A., Salehi, P. and Kötter, T. (2022). "Transformative Resilience: An Overview of Its Structure, Evolution, and Trends", *Sustainability*, Vol. 14, pp. 15267. Available at: https://doi.org/10.3390/su142215267.

Direttiva 2024/1275/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

European Commission (2022), *Introduction to the energy poverty advisory hub (EPAH) handbooks: A guide to understanding and addressing energy poverty*, Publications Office of UE. Available at: https://energy-poverty.ec.europa.eu/discover/publications/publications/introduction-energy-poverty-advisory-hub-epah-handbooks-guide-understanding-and-addressing-energy_en (accessed on 31.03.2025).

Folke, C. (2006), "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses", *Global Environmental Change*, Vol. 16, Issue 3/2006, pp. 253-267. Available at: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002.

Lavagna M. (a cura di) (2022), *LCA IN EDILIZIA. Ambiti applicativi e orientamenti futuri della metodologia. Life Cycle Assessment nel settore delle costruzioni,* Maggioli Editore. Available at: https://doi.org/10.30448/UNI.916.55806.

Madadizadeh, A., Siddiqui, K. and Aliabadi, A.A. (2024), "Review: The Economics Landscape for Building Decarbonization", *Sustainability,* Vol. 16(14), 6214. Available at: https://doi.org/10.3390/su16146214.

Mussinelli, E., Schiaffonati, F. and Torricelli, M.C. (2022), "For a necessary change", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 23, pp. 15-20. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-12915.

Nikolova A.S. and Ness, D. (2022), *The impossible dream*, Routledge EBooks. Available at: https://doi.org/10.4324/9781003244196-4.

Randrup, T.B., Buijs, A., Konijnendijk, C.C. and Wild, T. (2020), "Moving beyond the nature-based solutions discourse: introducing nature-based thinking", *Urban Ecosystems*, Vol. 23, n. 4, pp. 919-26.

Tucci, F., Baiani, S., Altamura, P. and Turchetti, G. (2024), "Climate proofing of the urban environment between process and design: a holistic and participatory methodology", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment,* Vol. 27, pp. 137-150. Available at: https://doi.org/10.36253/techne-15170.

Weitzman, M.L. (1997), "Sustainability and Technical Progress", *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 99, pp. 1-13. Available at: https://doi.org/10.1111/1467-9442.00043.

a cura di/*edited by* **Francesca Giglio,** https://orcid.org/0000-0002-5047-754X

Oltre la decarbonizzazione. Verso un ambiente urbano climate neutral. Il numero 29 di TECHNE esplora gli scenari sfidanti della neutralità carbonica e climatica con cui ci stiamo confrontando negli ultimi anni e le implicazioni che riguardano il contesto urbano, in tutti i suoi aspetti peculiari.

La transizione verso la riduzione del riscaldamento globale a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali (IPCC 2023), richiede un impegno collettivo e multidimensionale che abbracci approcci innovativi, basati su conoscenze interdisciplinari e strumenti operativi capaci di coniugare sostenibilità e resilienza. Da piu' di un decennio, Timothy Morton (2013) afferma che «il cambiamento climatico è un problema ontologico che richiede una ridefinizione radicale del nostro modo di abitare il mondo»[1] e in questa logica, la Rubrica ha selezionato testi rilevanti che offrono prospettive diverse e complementari sul tema della neutralità climatica. Ai tre testi, in questa ultima versione della Rubrica così strutturata, ne è stato aggiunto un quarto, a carattere disciplinare, che approfondisce il ruolo della didattica nella formazione di una nuova consapevolezza progettuale.

Il primo testo "Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof" (2021), a cura di V. D'Ambrosio, M. Rigillo, E. Tersigni (Clean Edizioni) – recensito da Marta Calzolari[2] – esplora il progetto di adattamento climatico attraverso un approccio multidisciplinare, individuando nella scala del distretto urbano il livello ideale per affrontare in modo efficace gli impatti del cambiamento climatico. M. Calzolari, evidenziando il contributo interdisciplinare e metodologico, sottolinea come il volume affronti le sfide climatiche attraverso un approccio integrato, che unisce conoscenze avanzate e strumenti operativi per trasformare i distretti urbani in eco-distretti resilienti. Il testo collega teoria e pratica attraverso casi studio e strumenti innovativi, promuovendo una progettazione sostenibile e centrata sulla comunità, suggerendo soluzioni scalabili e non standardizzate, adattabili a diversi contesti territoriali.

Infine, la riflessione critica di Calzolari pone l'accento sull'urgenza di integrare tecnologie e conoscenze nel disegno delle città future, valorizzando un sapere distribuito per affrontare le transizioni climatiche in corso.

Dalla rigenerazione di eco-distretti alla scala urbana, come proposto in "Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof", fino alla metodologia basata su assi strategici illustrata nel secondo contributo – i tre volumi "Verso la neutralità climatica e città green" di Fabrizio Tucci *et al.* (2023), di Franco Angeli – emerge una chiara consapevolezza che il futuro delle città dipende dalla capacità di coniugare soluzioni *site-specific* con visioni globali.

I tre volumi Open access "Verso la neutralità climatica di architetture e città green" ("Approcci, indirizzi, strategie, azioni"; "Sperimentazioni e casi studio del Nord e Mittel Europa"; "Sperimentazioni e casi studio del Sud Europa e in area mediterranea") sono recensiti da Monica Cannaviello[3] che analizza con rigore il contributo del lavoro alla ricerca sulla neutralità climatica. M. Cannaviello evidenzia come i volumi affrontino la rigenerazione dell'ambiente costruito attraverso strategie multiscalari, sei assi strategici e azioni concrete, esaminando sia la fattibilità sia i risultati effettivi. Centrale è il ruolo delle green cities, delle strategie bioclimatiche e dei materiali circolari per ridurre le emissioni e migliorare la resilienza.

La recensione approfondisce l'articolazione metodologica che collega teoria, ricerca e sperimentazione, valorizzando il con-

Beyond Decarbonization. Towards a Climate-Neutral Urban Environment. Issue 29 of TECHNE delves into the challenging scenarios of carbon neutrality, focusing on climate neutrality and its implications for the urban context in all its unique aspects. The transition to limiting global warming to 1.5°C above pre-industrial levels (IPCC 2023) requires a collective and multidimensional effort that embraces innovative approaches, grounded in interdisciplinary knowledge and operational tools capable of combining sustainability and resilience.

For over a decade, Timothy Morton (2013) has asserted that «climate change is an ontological problem requiring a radical redefinition of how we inhabit the world»[1]. Within this framework, the column has selected three significant texts that offer diverse and complementary perspectives on climate neutrality. To the three texts, in this latest version of the Rubric thus structured, a fourth, discipline-based text has been added that explores the role of didactics in the formation of a new design awareness.

The first book "Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof" (2021), edited by V. D'Ambrosio, M. Rigillo, and E. Tersigni (Clean Edizioni) and reviewed by Marta Calzolari[2], explores climate adaptation design through a multidisciplinary approach. It identifies the urban district scale as the ideal level to effectively address the impacts of climate change. Highlighting the interdisciplinary and methodological contributions of the volume, M. Calzolari emphasizes how the book tackles climate challenges through an integrated approach, combining advanced knowledge and operational tools to transform urban districts into resilient eco-districts. The review highlights the book's ability to connect theory and practice through case studies and innovative tools, promoting sustainable and community-focused design. The operational aspect of the volume suggests scalable and non-standardized solutions adaptable to various territorial contexts. Finally, Calzolari's critical reflection stresses the urgency of integrating technologies and knowledge in designing future cities, leveraging distributed expertise to address ongoing climate transitions.

From the regeneration of eco-districts at the urban scale, as proposed in "Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof", to the methodology based on strategic axes illustrated in the second contribution – the three volumes "Verso la neutralità climatica e città green" by Fabrizio Tucci *et al.* (2023, Franco Angeli) – a clear awareness emerges that the future of cities depends on combining site-specific solutions with global visions. These open-access volumes "Approaches, Guidelines, Strategies, Actions"; "Experimentations and Case Studies in Northern and Central Europe"; "Experimentations and Case Studies in Southern Europe and the Mediterranean Area", reviewed by Monica Cannaviello[3], rigorously analyze the work's contribution to research on climate neutrality. M. Cannaviello highlights how the volumes address the regeneration of the built environment through multi-scalar strategies, six strategic axes, and concrete actions, examining both feasibility and actual results. Central to these strategies are green cities, bioclimatic approaches, and circular materials to reduce emissions and improve resilience. The review delves into the methodological articulation

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17675

tributo dei casi studio che dimostrano l'applicabilità delle strategie proposte. Cannaviello rileva l'innovativa scheda riepilogativa dei casi studio, che facilita la valutazione progettuale e l'applicazione di standard net-zero, focalizzando il ruolo chiave della digitalizzazione e dei processi di *deep renovation* nella trasformazione verso città climaticamente neutre.

La condivisione delle responsabilità e la necessità dell'evoluzione continua delle politiche climatiche sono aspetti comuni che introducono al terzo testo – "Delivering a Climate Neutral Europe", curato da Jos Delbeke (2024), Routledge – nella comprensione delle dinamiche e delle politiche europee per la transizione verso la neutralità climatica. Il testo è recensito da Carol Monticelli[4] che descrive l'approccio pragmatico e collaborativo di Delbeke, unendo dati scientifici e casi studio concreti per proporre soluzioni realistiche ai limiti attuali e passati. La struttura del testo si articola in tre parti che esplorano temi cruciali: dagli obiettivi del Green Deal all'Emissions Trading System fino alla legislazione sui settori energia, trasporti, industria, agricoltura e finanza. C. Monticelli sottolinea il richiamo di Delbeke a una responsabilità condivisa tra governi, settore privato e cittadini, promuovendo il dialogo per superare le barriere e ottimizzare gli strumenti normativi.

Il quarto testo, a chiusura della Rubrica – "L'albero della Tecnologia. Dagli elementi costruttivi alla progettazione tecnologica ambientale. Riflessioni sulla didattica della Tecnologia dell'architettura nella Scuola di Roma a 100 anni dalla fondazione (2023)", di Luciano Cupelloni, Gangemi Editore, è recensito da Alessandro Claudi de Saint Mihiel[5] che rimarca l'importanza di una nuova concezione della didattica, privilegiando le conoscenze metodologiche, l'approfondimento dei criteri e delle regole, la competenza scientifica, tecnica e strumentale, per lasciare campo libero alla sperimentazione. In particolar modo, proprio rispetto alle tematiche multidisciplinari connesse alla neutralità carbonica e climatica, la necessità di un approccio integrato e multidimensionale, rappresenta il filo conduttore dei quattro testi, che testimoniano come progettazione urbana, ricerca scientifica e politiche pubbliche possano convergere verso un obiettivo comune: costruire una società climaticamente neutra e resiliente attraverso una sinergia tra governi, settore privato, comunità locali e cittadini.

Affrontare il cambiamento climatico non è solo una questione tecnica o normativa, ma anche culturale. Kate Raworth[6] (2017) ci ricorda che «il cambiamento sistemico non avviene attraverso piccoli aggiustamenti, ma grazie a una ridefinizione dei nostri obiettivi, dei nostri strumenti e del nostro immaginario collettivo»; una riflessione che invita a guardare oltre le soluzioni immediate per immaginare una trasformazione profonda e duratura, fornendo modelli e strategie che non solo rispondono alle emergenze climatiche, ma offrono anche la possibilità di ripensare il rapporto tra uomo, ambiente, tecnologia e progetto.

NOTE

[1] Morton, T. (2013), *Hyperobjects: Philosophy and Ecology after the End of the World*, Univ of Minnesota Pr.

[2] Marta Calzolari è professore Associato in in Progettazione Tecnologia e Ambientale dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara.

[3] Monica Cannaviello è Ricercatore in Progettazione Tecnologia e Ambientale dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, Università degli Studi della Campania, Luigi Vanvitelli.

linking theory, research and experimentation, enhancing the contribution of case studies that demonstrate the applicability of the proposed strategies. Cannaviello notes the innovative summary sheet of case studies, facilitating project evaluation and applying net-zero standards. The pivotal role of digitalization and deep renovation processes in transforming cities into climate-neutral entities is recognized, positioning the work as a guide for sustainable and innovative design.

The shared responsibility and the necessity for continuous evolution of climate policies are common aspects introducing the third text – "Delivering a Climate Neutral Europe", edited by Jos Delbeke (2024, Routledge). The book, reviewed by Carol Monticelli[4], examines the dynamics and European policies for transitioning to climate neutrality. Monticelli notes Delbeke's pragmatic and collaborative approach, blending scientific data with concrete case studies to propose realistic solutions to current and past limitations. The book is structured into three parts, exploring crucial themes: Green Deal objectives, the Emissions Trading System, and legislation for energy, transport, industry, agriculture, and finance. C. Monticelli emphasizes Delbeke's call for shared responsibility among governments, the private sector, and citizens, promoting dialogue to overcome barriers and optimize regulatory tools.

The fourth text, closing the Rubric – "L'albero della Tecnologia. Dagli elementi costruttivi alla progettazione tecnologica ambientale. Riflessioni sulla didattica della Tecnologia dell'architettura nella Scuola di Roma a 100 anni dalla Fondazione" (2023), by Luciano Cupelloni, Gangemi Editore, is reviewed by Alessandro Claudi de Saint Mihiel[5], who emphasizes the importance of a new conception of didactics, privileging methodological knowledge, in-depth study of criteria and rules, scientific, technical and instrumental expertise, in order to leave the field open to experimentation. Particularly with respect to the multidisciplinary issues related to carbon and climate neutrality, the need for an integrated and multidimensional approach is the common thread of the four texts, which testify to how urban design, scientific research and public policy can converge toward a common goal: to build a climate-neutral and resilient society through a synergy between governments, the private sector, local communities and citizens.

Addressing climate change is not merely a technical or regulatory issue but also a cultural one. Kate Raworth (2017)[6] reminds us that «systemic change does not occur through small adjustments but through redefining our goals, tools, and collective imagination». This reflection invites us to look beyond immediate solutions to envision a profound and lasting transformation, offering models and strategies that not only respond to climate emergencies but also reimagine the relationship between humanity, the environment, technology and design.

NOTES

[1] Morton, T. (2013), *Hyperobjects: Philosophy and Ecology after the End of the World*, Univ of Minnesota Pr.

[2] Marta Calzolari is Associate Professor in Technological and Environmental Design of Architecture at the Department of Architecture, University of Ferrara.

[3] Monica Cannaviello is Researcher

[4] Carol Monticelli è professore Associato in in Progettazione Tecnologia e Ambientale dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano.

[5] Alessandro Claudi de Saint Mihiel è professore Associato in Progettazione Tecnologica Ambientale dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II

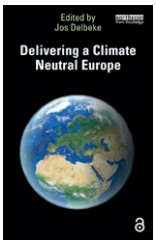
[6] Raworth, K. (2017), *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*, Random House Business.

in Technological and Environmental Design of Architecture at the Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania, Luigi Vanvitelli.

[4] Carol Monticelli is Associate Professor in Technological and Environmental Design of Architecture at the Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano.

[5] Alessandro Claudi de Saint Mihiel is Associate Professor in Technological and Environmental Design of Architecture at the Department of Architecture, Università degli Studi di Napoli Federico II.

[6] Raworth, K. (2017), *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*, Random House Business.



Jos Delbeke (Ed.)
Delivering a Climate Neutral Europe
Earthscan from Routledge – Taylor and Francis Group, 2024

La lotta ai cambiamenti climatici e all'inquinamento può assumere diverse connotazioni e coinvolgere persone, autorità, aziende ed interi settori produttivi. Negli ultimi trent'anni si è portata avanti questa "corsa ai ripari" con successi più o meno importanti. Una cosa certa è l'ormai riconosciuta importanza di impegnarsi, in qualsiasi ambito, per ridurre gli impatti ambientali e risparmiare energia, con una visione a medio e lungo termine.

Wopke Hoekstra[1] introduce il libro "Delivering a Climate Neutral Europe" rimarcando come «Il cambiamento climatico è e rimarrà con noi. È la sfida di una generazione». Egli offre una iniziale riflessione su come le prove siano tangibili e il 2023 sia stato l'anno più caldo mai registrato, con temperature che si avvicinano già molto all'incremento di 1,5°C[2] rispetto alla media prevista. La "nuova normalità", in Europa e per il mondo in generale, sono diventati le esondazioni/inondazioni, la siccità e gli incendi boschivi, che aggravano i costi climatici già proibitivi di alcuni paesi vulnerabili e fanno presagire la futura scomparsa di piccoli stati insulari.

In questo scenario il libro di Jos Delbeke si presenta come un'analisi essenziale per decisori, studiosi e lettori interessati a capire come l'Europa possa comprendere le sfide e le opportunità associate alla transizione "a emissioni zero". Delbeke considera questo il terzo libro di quella che è diventata *de facto* una serie iniziata nel 2015 in merito allo sviluppo della politica climatica dell'Unione Europea. Il primo descriveva la semina, il secondo è la sua crescita fino all'adolescenza, e questo terzo riguarda la sua maturità.

Riassume puntualmente come si è sviluppata l'azione per il clima dell'UE in 25 anni di politica climatica, con enfasi su quanto è stato realizzato nell'ambito del Green Deal[3] fino a gennaio 2024. Fornisce inoltre indicazioni importanti in merito alle questioni climatiche sul tavolo dei decisori nel prossimo ciclo politico europeo 2024-2029, alle opportunità e alle insidie per la futura azione per il clima. Fa emergere come un approccio resiliente è quello che deve caratterizzare la politica climatica, con una continua messa a punto della cassetta degli attrezzi da parte dei decisori.

Un punto forte che emerge nello scorrere e leggere "Delivering a Climate Neutral Europe" è l'approccio pragmatico dell'autore: Delbeke non si limita a descrivere i limiti attuali e passati, ma fornisce soluzioni pratiche e realistiche "guardando oltre". Le proposte sono supportate da dati scientifici puntuali e casi studio concreti, rendendo l'analisi robusta e convincente.

Collaborazione e Responsabilità sono due concetti che emergono evidenti nel suo trattato. La transizione verso un'Europa a emissioni zero richiede un impegno collettivo e l'importante collaborazione tra governi, settore privato e cittadini, per cui l'autore esorta a un dialogo costante tra tutti gli attori coinvolti. Sottolinea, inoltre, che la responsabilità non può essere delegata unicamente ai governi, ma deve essere condivisa tra tutti i membri della società.

L'opera è organizzata in tre parti con all'interno sezioni tematiche su aspetti cruciali della transizione verso la neutralità climatica. Ci sono contributi di ex suoi colleghi della Commissio-

The fight against climate change and pollution can take various forms and involve individuals, authorities, businesses, and entire productive sectors. Over the past thirty years, this "race for remedies" has seen successes of varying significance. One thing is certain: the recognized importance of engaging, in any field, to reduce environmental impacts and save energy, with a medium- and long-term vision.

Wopke Hoekstra[1] introduces the book "Delivering a Climate Neutral Europe", emphasizing that "Climate change is and will remain with us. It is the challenge of a generation". He reflects on the tangible evidence that 2023 was the hottest year on record, with temperatures already nearing the anticipated 1.5°C[2] increase above the average. The "new normal" for Europe and the world has become flooding, drought, and wildfires, which exacerbate the already prohibitive climate costs for vulnerable countries and foreshadow the potential disappearance of small island states.

In this context, Jos Delbeke's book serves as an essential analysis for decision-makers, scholars, and interested readers seeking to understand how Europe can navigate the challenges and opportunities associated with the transition to "zero emissions". Delbeke considers this the third book in what has effectively become a series started in 2015 concerning the development of the European Union's climate policy. The first described the planting phase, the second its growth into adolescence, and this third focuses on its maturity.

It succinctly summarizes how the EU's climate action has evolved over 25 years of climate policy, emphasizing what has been achieved under the Green Deal[3] up to January 2024. It also provides important insights into the climate issues on the table for decision-makers in the upcoming 2024-2029 European political cycle, including opportunities and pitfalls for future climate action. Delbeke highlights that a resilient approach should characterize climate policy, with decision-makers continually refining their toolkit.

A strong point that emerges from reading "Delivering a Climate Neutral Europe" is the author's pragmatic approach: Delbeke doesn't just describe current and past limitations but offers practical and realistic solutions "looking beyond". His proposals are backed by precise scientific data and concrete case studies, making the analysis robust and convincing.

Collaboration and Responsibility are two prominent concepts in his treatise. The transition toward a zero-emission Europe requires a collective commitment and significant collaboration among governments, the private sector, and citizens, prompting the author to call for ongoing dialogue among all involved actors. He also emphasizes that responsibility cannot be solely delegated to governments but must be shared among all members of society.

The work is organized into three parts, with thematic sections on crucial aspects of the transition to climate neutrality. It includes contributions from former colleagues at the European Commission who played a vital role in the legislation discussed and oversaw the legislative process, involved in negotiations between the European Parliament and the Council and finalizing legal texts.

The book focuses on reducing greenhouse gas emissions rather than adapting to climate change. The first part

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17676

ne europea, che hanno svolto un ruolo cruciale nella legislazione di cui stavano scrivendo e hanno supervisionato l'iter di ogni atto legislativo, coinvolti nel negoziato tra il Parlamento europeo e il Consiglio e nella finalizzazione dei testi giuridici.
Il libro si concentra sulla riduzione delle emissioni di gas serra, più che sull'adattamento ai cambiamenti climatici. La prima parte offre una panoramica degli obiettivi e delle politiche che l'UE ha adottato nel contesto dell'accordo di Parigi. Il capitolo di apertura è in una certa misura un'introduzione e una conclusione combinate. Solleva anche questioni politiche anticipatorie, probabilmente, dei temi sul tavolo dei nuovi membri del Parlamento europeo e della Commissione più tardi nel 2024. La seconda parte si occupa dell'*Emission Trading System* dell'UE, il sistema di scambio di emissioni che è stato fondamentalmente rivisto e rafforzato. Sono stati aggiunti un meccanismo di adeguamento della frontiera del carbonio e un sistema commerciale adiacente che copre i carburanti per il trasporto e il riscaldamento, mentre la dimensione internazionale dei prezzi del carbonio è in costante crescita.
Nella terza parte, i passaggi critici della legislazione relativa al clima sono analizzati per i settori Energia, Trasporti, Industria, Agricoltura e Finanza.
Il libro di Delbeke approfondisce le politiche energetiche, evidenziando come l'Europa possa emergere come leader nell'energia rinnovabile, grazie a fonti come il solare e l'eolico. Analizza le barriere da superare e l'importanza di investimenti e tecnologie innovative. Sottolinea che, nonostante l'aumento delle emissioni di gas serra, l'Europa ha ridotto le sue emissioni del 32,5% dal 1990, grazie a politiche UE efficaci. Si discute anche di mobilità sostenibile e trasporti, proponendo strategie per mezzi ecologici e infrastrutture come reti di ricarica. Infine, affronta l'economia circolare, sottolineando l'importanza del riutilizzo e riciclo per ridurre le emissioni di carbonio e promuovere un cambiamento culturale verso la sostenibilità.
E complessivamente l'opera invita a riflettere profondamente sulla capacità dell'Europa di guidare il mondo verso un futuro sostenibile e a comprendere le dinamiche delle politiche climatiche contemporanee.

Carol Monticelli
https://orcid.org/0000-0002-8238-7514

NOTE

[1] Politico olandese, Commissario europeo per l'azione per il clima dal 9 ottobre 2023.

[2] Dati di Copernicus Climate Change Service, "From widespread floods to severe heatwaves, ESOTC 2023 puts Europe's climate in focus". Available at: https://climate.copernicus.eu/widespread-floods-severe-heatwaves-esotc-2023-puts-europes-climate-focus.

[3] Insieme di iniziative politiche proposte dalla Commissione europea con l'obiettivo generale di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050, coprendo tutti i settori dell'economia, non ultimo nei settori dell'energia, dei trasporti e dell'industria: Paola Tamma, Europe's Green Deal plan unveiled, su politico.eu, 11 dicembre 2019. URL consultato il 16 ottobre 2024. Available at: https://www.politico.eu/article/the-commissions-green-deal-plan-unveiled/; Frédéric Simon, EU Commission unveils 'European Green Deal': The key points, su euractiv.com, 11 dicembre 2019. URL consultato il 16 ottobre 2024.

provides an overview of the objectives and policies the EU has adopted within the framework of the Paris Agreement. The opening chapter serves as both an introduction and a conclusion, raising anticipatory political questions likely relevant for the new members of the European Parliament and the Commission later in 2024. The second part covers the EU Emissions Trading System, which has been fundamentally revised and strengthened. A carbon border adjustment mechanism and an adjacent trading system covering fuels for transportation and heating have been added, while the international dimension of carbon pricing is constantly growing.
In the third part, critical legislative steps related to climate are analyzed for the sectors of Energy, Transport, Industry, Agriculture, and Finance.
Delbeke's book delves into energy policies, highlighting how Europe can emerge as a leader in renewable energy through sources like solar and wind. It examines the barriers to be overcome and the importance of investment and innovative technologies. It notes that despite rising greenhouse gas emissions, Europe has reduced its emissions by 32.5% since 1990, thanks to effective EU policies. The discussion also includes sustainable mobility and transport, proposing strategies for eco-friendly transport and infrastructure such as charging networks. Lastly, it addresses the circular economy, emphasizing the importance of reuse and recycling to reduce carbon emissions and promote a cultural shift toward sustainability.
Overall, the work invites deep reflection on Europe's capacity to lead the world toward a sustainable future and to understand the dynamics of contemporary climate policies.

NOTES

[1] Dutch politician, European Commissioner for Climate Action from 9 October 2023.

[2] Data from the Copernicus Climate Change Service, 'From widespread floods to severe heatwaves, ESOTC 2023 puts Europe's climate in focus'. Available at: https://climate.copernicus.eu/widespread-floods-severe-heatwaves-esotc-2023-puts-europes-climate-focus.

[3] A set of political initiatives proposed by the European Commission with the overall objective of achieving climate neutrality in Europe by 2050, covering all sectors of the economy, not least in the energy, transport and industrial sectors: Paola Tamma, Europe's Green Deal plan unveiled, on politico.eu, 11 December 2019. URL accessed on 16 October 2024. Available at: https://www.politico.eu/article/the-commissions-green-deal-plan-unveiled/; Frédéric Simon, EU Commission unveils 'European Green Deal': The key points, su euractiv.com, 11 dicembre 2019. URL consultato il 16 ottobre 2024.

Fabrizio Tucci et al.
Verso la neutralità climatica di architetture e città green
- ***Approcci, indirizzi, strategie, azioni***
- ***Sperimentazioni e casi studio del Nord e Mittel Europa***
- ***Sperimentazioni e casi studio del Sud Europa e in area mediterranea***

Franco Angeli, 2023

«La misura in cui le generazioni attuali e future sperimenteranno un mondo più caldo e diverso dipende dalle scelte attuali e a breve termine» (IPCC, 2023), per cui l'impellente esigenza di intervenire richiede un approccio multidimensionale e una visione strategica per andare *oltre la decarbonizzazione,* in un'ottica di disaccoppiamento della crescita economica dal consumo di risorse e dagli impatti ambientali (UNEP, 2024).
"Verso la neutralità climatica di architetture e città green", è il titolo di tre volumi di Fabrizio Tucci *et al.* (2023), che affrontano con rigore scientifico, in modo sistematico e multiscalare il tema delle strategie di mitigazione e adattamento per la rigenerazione dell'ambiente costruito. Nel primo volume, di Fabrizio Tucci, Valeria Cecafosso, Paola Altamura e Gaia Turchetti, una accurata ricostruzione del complesso scenario di riferimento internazionale rappresenta il punto di partenza per delineare linee strategiche e azioni concrete, basate su soluzioni tecnologiche innovative, per il raggiungimento della *piena e totale neutralità climatica.*
Considerando, da un lato le molteplici transizioni che siamo costretti ad affrontare, e dall'altro gli approcci teorici del *green building* e *green city*, vengono individuati sei *assi strategici,* connessi a diversi livelli all'obiettivo "Carbon Neutral", declinati in specifiche azioni per affrontare in modo organico le diverse sfide. Le azioni strategiche sono descritte e valutate non solo in relazione ai benefici che possono offrire, ma anche rispetto alla fattibilità e ai risultati effettivamente raggiunti, riportati nella descrizione di casi studio virtuosi, nonché alle principali barriere che ne impediscono una maggiore diffusione.
Questa articolazione rispetto agli assi, che caratterizza l'ossatura portante dei tre volumi, risulta particolarmente efficace ai fini dell'organizzazione di tematiche così complesse, favorendo la interrelazione e la sinergia tra le diverse azioni, quanto mai necessaria ma spesso trascurata a livello di politiche e di ricerca.
Accanto alle strategie per la transizione energetica, ritenuta per lungo tempo la prioritaria, focalizzate sulla produzione di energia da fonti rinnovabili e sulla riduzione dei consumi nella fase operativa attraverso l'efficientamento energetico degli involucri edilizi, vengono approfondite tutte le azioni che possono giocare un ruolo chiave in termini di mitigazione e adattamento. Le strategie bioclimatiche, ad esempio, possono fornire un contributo significativo per la riduzione passiva non solo dei fabbisogni energetici ma anche del *global warming.* Analogamente gli approcci efficaci sotto il profilo delle risorse, con l'utilizzo di materiali circolari e *low carbon* e l'applicazione delle logiche di circolarità anche agli edifici, attraverso strategie per l'estensione della vita utile, per l'adattabilità e la flessibilità, consentono di intervenire sul carbonio incorporato nel ciclo di vita e sui rifiuti. Un passaggio utile agli studiosi del settore riguarda le strategie di urban greening, alle varie scale, in relazione sia al potenziale di *carbon sequestration*, sia all'aumento della resilienza degli ambienti urbani, e quelle per la mobilità sostenibile. Anche rispetto all'asse strategico che propone la *functional mixitè and proximity* come modello per ottimizzare l'uso delle risorse materiali, scaturiscono azioni che, pur non determinando un diretto contributo in termini di riduzione delle emissioni, possono generare processi trasformativi con effetti positivi

«The extent to which current and future generations will experience a hotter and different world depends on choices now and in the near term» (IPCC, 2023), so the pressing need for action requires a multidimensional approach and a strategic vision to go beyond decarbonisation, with a view to decoupling economic growth from resource consumption and environmental impacts (UNEP, 2024).
"Verso la neutralità climatica di architetture e città green", is the title of three volumes by Fabrizio Tucci et al (2023), which tackle the issue of mitigation and adaptation strategies for the regeneration of the built environment with scientific rigour, in a systematic and multi-scalar way. In the first volume, by Fabrizio Tucci, Valeria Cecafosso, Paola Altamura, and Gaia Turchetti, an accurate reconstruction of the complex international reference scenario is the starting point for outlining strategic lines and concrete actions, based on innovative technological solutions, to achieve full and total climate neutrality.
Taking into account, on the one hand, the multiple transitions that we will have to face and, on the other hand, the theoretical approaches of Green Building and Green Cities, six strategic axes are identified, linked at different levels to the 'carbon neutral' goal, and broken down into specific actions to tackle the different challenges in an organic way. The strategic actions are described and evaluated not only in terms of the benefits they can offer, but also in terms of their feasibility and the results actually achieved, reported in the description of virtuous case studies, as well as the main barriers that prevent their wider diffusion.
This articulation around axes, which forms the backbone of the three volumes, is particularly effective in organising such complex issues and promotes the interrelationships and synergies between the different actions that are so necessary but often neglected at the policy and research level. In addition to energy transition strategies, which have long been considered a priority, focusing on energy production from renewable sources and reduction of consumption in the operational phase through energy efficiency of building envelopes, all the actions that can play a key role in mitigation and adaptation are examined. Bioclimatic strategies, for example, can make a significant contribution to the passive reduction not only of energy needs but also of global warming. Similarly, resource-efficient approaches using circular and low-carbon materials and applying circularity principles to buildings through strategies for life extension, adaptability and flexibility enable intervention in life-cycle embodied carbon and waste. A useful passage for researchers in the field concerns urban greening strategies, at the various levels, both in relation to the potential for carbon sequestration as well as increasing the resilience of urban environments, and those for sustainable mobility. Even with respect to the strategic axis that proposes functional mixitè and proximity as a model for optimising the use of material resources, actions arise that, while not determining a direct contribution in terms of reducing emissions, can generate transformative processes with positive effects on the other axes.
In this context, and also in relation to the exponential growth trend of urban areas, the central role of green city in achieving the goal of climate neutral-

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17677

sugli altri assi. In questo contesto emerge, anche in relazione al trend esponenziale di crescita delle aree urbane, il ruolo centrale delle *green city* rispetto all'obiettivo della neutralità climatica, soprattutto in relazione a tre aspetti fondamentali, relativi alla riqualificazione del patrimonio edilizio esistente attraverso processi di *deep building renovation*, all'utilizzo di standard *net-zero* e *positive energy* alla scala di edificio e di quartiere, e alla digitalizzazione.
Il primo volume si chiude con una interessante sperimentazione progettuale di mitigazione climatica a scala di quartiere, che fornisce indirizzi e strategie per ridurre le emissioni di carbonio e al contempo migliorare il comfort ambientale e quindi la fruibilità e la vivibilità degli spazi. A partire dalle criticità riscontrate nella fase di analisi e dei possibili scenari di intervento, l'utilizzo di modelli di calcolo dinamici consente di quantificare gli effetti delle scelte progettuali in termini emissioni di CO_2, supportando nella scelta delle soluzioni più idonee e conducendo alla definizione di un modello di intervento adattabile ai diversi contesti.
Nel secondo volume, di Fabrizio Tucci, Fabrizio Amadei, Maria Michaela Pani e Giada Romano, sono descritti e analizzati un cospicuo numero di casi studio sperimentali nel Nord e Mittel Europa, selezionati tra progetti di distretti urbani ed ecoquartieri che hanno dimostrato un impegno significativo rispetto al conseguimento degli obiettivi *zero emission*, *positive energy*, e *carbon-neutrality*. L'analisi di ciascun caso studio è introdotta da una innovativa scheda riepilogativa che evidenzia, per ognuno dei sei assi strategici, quali sono le azioni attuate e il punteggio globale rispetto all'asse, fornendo una chiave di lettura omogenea per la valutazione dei progetti. Con medesimo approccio, nel terzo volume, di Fabrizio Tucci, Marco Giampaoletti, Federica Nava e Violetta Tulelli, sono riportati casi studio nel Sud Europa e area mediterranea. L'analisi effettuata conferma l'applicabilità del quadro metodologico di strategie e azioni impostato nel primo volume, e risponde all'obiettivo dichiarato di rappresentare un'utile base di riferimento per l'orientamento della progettazione ambientale verso la neutralità climatica.
I tre volumi hanno il merito di mettere a sistema un quadro complesso e articolato di problematiche, sfide, politiche e strategie, tutte convergenti sull'obiettivo della *piena neutralità climatica*, coniugando approccio teorico, ricerca e sperimentazione. Ne scaturiscono azioni concrete di mitigazione e adattamento, ad ampio spettro, efficacemente strutturate e supportate da sperimentazioni progettuali che ne dimostrano la reale fattibilità, mettendo in evidenza che tutte, soprattutto se utilizzate in modo sinergico e improntate su logiche di multi-scalarità, infra-disciplinarità e inter-settorialità, possono dare un contributo efficace non solo in termini di prevenzione e riduzione delle emissioni climalteranti ma anche rispetto alla qualità dell'abitare.

Monica Cannaviello
https://orcid.org/0000-0002-9825-2243

REFERENCES

IPCC (2023), "Summary for Policymakers", in: H. Lee and J. Romero (Eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland. Available at: doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

UNEP United Nations Environment Programme (2024), *Global Resources Outlook 2024 Summary for Policymakers: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes*, International Resource Panel, Nairobi. Available at: https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44902.

ity becomes apparent, especially in relation to three fundamental aspects related to the redevelopment of the existing building stock through deep building renovation processes, the application of net-zero and positive energy standards at the building and neighbourhood level, and digitisation.
The first volume concludes with an interesting design experiment of climate mitigation at the neighbourhood level, which provides guidelines and strategies to reduce carbon emissions while improving environmental comfort and thus the usability and liveability of spaces. Starting from the criticalities found in the analysis phase and the possible intervention scenarios, the use of dynamic calculation models makes it possible to quantify the impact of design choices in terms of CO_2 emissions, supporting the choice of the appropriate solutions and leading to the definition of an intervention model adaptable to different contexts.
The second volume, by Fabrizio Tucci, Fabrizio Amadei, Maria Michaela Pani and Giada Romano, describes and analyses a large number of experimental case studies in Northern and Mittel Europe, selected from projects of urban districts and eco-neighbourhoods that have made significant efforts to achieve zero emission, positive energy and carbon neutrality goals. The analysis of each case study is introduced by an innovative summary sheet which, for each of the six strategic axes, highlights the actions implemented and the overall score in relation to the axis, providing a uniform key for evaluating projects. Using the same approach, the third volume, by Fabrizio Tucci, Marco Giampaoletti, Federica Nava and Violetta Tulelli, reports on case studies in Southern Europe and the Mediterranean. The analysis carried out confirms the applicability of the methodological framework of strategies and actions presented in the first volume and responds to the declared objective of providing a useful reference base for the orientation of environmental design towards climate neutrality.
The three volumes have the merit of systemising a complex and articulated framework of issues, challenges, policies and strategies, all converging on the goal of full climate neutrality, combining theoretical approach, research and experimentation. Concrete mitigation and adaptation actions are the result, wide-ranging, effectively structured and supported by experimental projects that demonstrate their real feasibility, highlighting that all of them, especially if used in a synergic manner and marked by multi-scalar, infra-disciplinary and inter-sectoral logic, can make an effective contribution not only in terms of prevention and reduction of climate-altering emissions, but also in terms of quality of living.

Valeria D'Ambrosio, Marina Rigillo and Enza Tersigni (Eds.)
Transizioni. Conoscenza e progetto climate proof
Clean Edizioni, 2022

Le attuali poli-sfide richiamano l'urgente necessità di una riformulazione dell'approccio tradizionale del progetto ambientale, volta a integrare nuovi strumenti operativi per l'intervento nei contesti urbani italiani. Si parla quindi di "adattamento", coinvolgendo tematiche relative alla misurazione degli impatti e delle vulnerabilità, inquadrandolo come possibile reazione al cambiamento climatico (Losasso, 2020).
Il volume in esame si propone come contributo rilevante nell'ambito dell'intervento in contesti urbani, affrontando il tema del cambiamento climatico attraverso una prospettiva multidisciplinare, volta a ridefinire il quadro teorico e metodologico attraverso l'integrazione di processi conoscitivi avanzati. Uno degli obiettivi dichiarati è, infatti, valutare le implicazioni interdisciplinari partendo dal presupposto che non esistano discipline «guida e discipline di servizio» ma invece sia improrogabile la «necessità di sviluppare una sintesi nel dialogo tra competenze» (p. 20) superando le difficoltà derivanti dai tecnicismi (p. 129). L'interazione tra metodi quantitativi e approcci euristici enfatizzata nel volume si rifà all'idea di "design science" di Cross (2007), dove la progettazione è intesa come un processo iterativo e conoscitivo per risolvere problemi complessi.
Il focus sulla scala del distretto urbano si allinea con le recenti traiettorie della ricerca e della pratica della sostenibilità, dove imprescindibili azioni di adattamento climatico alla larga scala integrano la conoscenza scientifica e tecnologica per lo sviluppo di modelli urbani sostenibili (Lombardi *et al*., 2012; Carmin *et al*., 2012). Il testo suggerisce un approccio integrato e complesso, sottolineando l'importanza di trasformare gli attuali distretti in eco-distretti *climate proof,* attraverso strategie che coinvolgano attivamente sia la comunità scientifica sia gli stakeholder. Questa visione si inserisce in un contesto più ampio di studi sull'urbanizzazione sostenibile e resiliente (Meerow *et al*., 2016) e di *urban metabolism* (Kennedy *et al*., 2011), come evidenziato da autori quali Harvey (2012) e Gehl (2010), che insistono sull'importanza di una progettazione partecipativa e su scala umana.
Il volume, scritto a più voci, rappresenta, inoltre, un significativo contributo nella fase di trasferimento di best practices di rigenerazione resiliente, a diversi contesti, anche internazionali, spostando il focus da grandi progetti pilota (ottimi ma costosi) a soluzioni a scala più ridotta ma diffusa (p. 34) dove tecnologie innovative e *smart* (p. 37) si sostituiscono alle «armi del passato», non più sufficienti per contrastare le nuove complessità.
L'operatività del testo si pone nel «tempo intermedio» (p. 11), concetto sotteso al titolo del libro stesso, durante il quale siamo chiamati a rallentare gli effetti in essere e a prevenire quelli futuri, per «dare contezza del cambio di passo in corso nella ricerca nel campo della progettazione ambientale, in un processo di attraversamento» (p. 11). Viene proposta una diversa consapevolezza verso le tematiche affrontate, favorendo un sapere distribuito ovunque, continuamente valorizzato, coordinato in tempo reale che porti a una mobilitazione effettiva delle competenze per un arricchimento reciproco (Franceschi, 1996). Emerge, quindi, un pensiero ottimista che si declina in una ricchezza di soluzioni possibili rispetto ai problemi riscontrati e ai diversi climi (p. 43):

Current climate, social, and economic challenges underscore the urgent need to rethink the traditional approach to environmental design by integrating new operational tools for interventions in Italian urban contexts. This shift centres on "adaptation", encompassing themes related to measuring impacts, identifying critical issues, and assessing vulnerabilities as part of a potential response to climate change (Losasso, 2020).
The proposal to redefine the theoretical and methodological framework by incorporating advanced knowledge processes aligns with contemporary trends in architectural and environmental research, which emphasize adaptive design and site-specific solutions as essential responses to climate crises. The volume under consideration makes a valuable contribution to architecture and urban intervention, addressing climate change from a multidisciplinary perspective. One stated objective is to evaluate interdisciplinary implications based on the principle that there are no «leading or supporting disciplines» but rather an urgent need to «develop a synthesis through cross-disciplinary dialogue» (p. 20) that overcomes the challenges of technical language (p. 129).
The focus on the urban district scale aligns with recent research and practice in sustainability, where climate adaptation measures are increasingly seen as essential for building resilience in urban areas, incorporating scientific and technological knowledge to develop sustainable urban models (Lombardi *et al*., 2012; Carmin *et al*., 2012). The text advocates for an integrated and complex approach, emphasizing the importance of transforming current districts into climate-proof eco-districts through strategies that actively engage both the scientific community and stakeholders. This vision fits within a broader context of sustainable and resilient urbanization studies (Meerow *et al*., 2016) and urban metabolism (Kennedy *et al*., 2011), as highlighted by works from authors such as Harvey (2012) and Gehl (2010), who stress the importance of participatory and human-scaled design in response to environmental challenges.
The interaction between quantitative methods and heuristic approaches emphasized in the volume draws on Cross's (2007) concept of "design science," where design is understood as an iterative and knowledge-based process aimed at solving complex problems.
This multi-authored volume is a valuable resource for transferring best practices, including international ones, to diverse contexts, offering a critical examination of case studies that can be applied through resilient regeneration, shifting the focus from pilot projects (excellent but costly) to smaller, more widely applicable solutions (p. 34). The «tools of the past» are no longer sufficient to tackle the new climate change scenarios; therefore, governing new complexities requires innovative and smart technologies (p. 37).
The text serves as a useful tool by positioning itself within the «intermediate time» (p. 11) – a concept central to the book's title – during which we are called to slow down current impacts and prevent future ones, to «demonstrate the shift underway in environmental design research, through a process of transformation» (p. 11). The proposed approach emphasizes a new level of awareness of the themes addressed, fostering widely accessible

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17678

il volume propone la strada per applicarle, nella coscienza che queste non potranno e non dovranno essere standardizzate, ma tener conto delle specificità delle relazioni e delle culture di ciascun luogo (p. 36). A conferma di ciò, uno dei concetti chiave richiamato trasversalmente tra le pagine è "site/context specific", declinato anche nelle forme di "placed based" e "hazard specific" (p. 70, 58, 169), con la volontà di fornire strumenti guida operativi senza cadere nel generalismo, criticità forse più ricorrente nelle strategie sviluppate negli ultimi anni (approccio *one-best way*, p. 131), rapportandosi al tessuto sociale e alla politica del territorio con pratiche di partecipazione, formazione e aggiornamento degli stakeholders (p. 92). L'importanza di un approccio adattivo è confermata (p. 70) da un'interessante valutazione dell'IPCC del 2012 che non incolpa l'evento climatico in sé come causa dei disastri ambientali, ma semmai la sua combinazione con le caratteristiche fisiche, sociali, culturali e antropiche dei luoghi (p. 239), sulle quali è necessario lavorare per limitare gli impatti. Inoltre, a p. 137 si definisce il cambiamento climatico come un «processo situato» nella memoria, nel tempo e nello spazio: si manifesta nel tempo come esito di dinamiche sul lungo periodo, nella sua dimensione spaziale nel «dualismo tra globale e locale» (p. 191) e nella narrazione personale come differenza fra racconto mediatico e percezione individuale. Legato a ciò, interessante e lucida emerge la casistica di "adattamenti" possibili riportata a p. 140, che spaziano da quelli legati alle caratteristiche fisiche fino alle implicazioni sociali e che trovano soluzione in una rinnovata progettualità (p. 190).
Grazie agli strumenti predittivi e a un nuovo sistema di misurazione degli indicatori è, oggi, fondamentale proiettare al futuro le prefigurazioni per verificarne l'attendibilità nel domani, in questo tempo in divenire. Il volume offre potenziali strumenti per «integrare modifiche in progress degli scenari [...] rispetto ai quali sarà necessario fissare nuove priorità nelle agende urbane» (p. 16) e valutare l'«incidenza degli impatti» (p. 16), in relazione alle città, all'economia, alla cultura e, finanche, all'individuo (p. 130), riconoscendo quali persone siano le principali vittime degli effetti del cambiamento climatico e interagire con loro per risolvere il problema mettendo al centro il destinatario finale del nostro progetto.

Marta Calzolari
https://orcid.org/0000-0002-9749-7214

REFERENCES

Carmin, J., Nadkarni, N. and Rhie, C. (2012), *Progress and Challenges in Urban Climate Adaptation Planning: Results of a Global Survey*. MIT (Accessed on 20/10/2024).

Cross, N. (2007), *Designerly Ways of Knowing*. Springer (Accessed on 20/10/2024).

Franceschi M. (1996), Riduzione di Levy P. (1994), *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*, Feltrinelli, Milano (Accessed on 21/10/2024).

Gehl J. (2010), *Cities for People,* Island Press, Stati Uniti (Accessed on 18/10/2024).

Harvey D. (2012), *Rebel Cities: From the Right to the City to the Urban Revolution,* Verso, Londra (Accessed on 18/10/2024).

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2012), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.* Available at: http://ipcc-wg2.gov/SREX/report/ (Accessed on 28/10/2024).

and continuously valued knowledge, coordinated in real-time to enable effective mobilization of skills for mutual enrichment (Franceschi, 1996). From the analysis, an optimistic perspective on these issues emerges, along with a wealth of potential solutions suited to the identified challenges and varied climates (p. 43). While the volume outlines a pathway for implementing these solutions, it stresses that they must not and cannot be standardized, as solutions must consider the unique relationships and cultures of each place (p. 36). Supporting this, one of the recurring key concepts is "site/context-specific," also articulated as "place-based" and "hazard-specific" (p. 70, 58, 169), with a focus on offering operational tools without generalise – a common issue in strategies developed in recent years (the "one-best-way" approach, p. 131). This approach engages with the social fabric and local politics through participatory practices, stakeholder training, and continual updates (p. 92).
The importance of an adaptive, non-standardized approach is underscored on p. 70, referencing an IPCC (2012) assessment that attributes environmental disasters not simply to climate events themselves but to their interaction with the physical, social, cultural, and human characteristics of each place (p. 239). Designers have the responsibility to work on these combinations to mitigate impacts. Furthermore, climate change is defined on p. 137 as a «situated process», rooted in memory, time, and space. It manifests temporally as a result of long-term dynamics, spatially in the «global-local dualism» (p. 191), and personally in the difference between media portrayal and individual perception. Relatedly, an insightful set of "adaptations" is provided on p. 140, spanning physical characteristics to social implications, which find resolution in renewed design practices (p. 190).
Today, predictive tools and new systems for indicator control and measurement are essential to projecting scenarios and ensuring that current solutions remain sustainable into the future, as we navigate this evolving present. The volume offers potential tools for «integrating progressive changes in scenarios [...] where it will be necessary to establish new priorities on urban agendas» (p. 16).
Strongly linked to the theme of possible scenarios is the critical discussion of «impact incidence» (p. 16), to be evaluated on cities, on the economy, culture, and even individuals (p. 130). This involves recognizing those most affected by climate change impacts and finding ways to reach and engage them, focusing our projects on the end recipients at the heart of our efforts.

Kennedy, C., Cuddihy, J. and Engel-Yan, J. (2007), *The Changing Metabolism of Cities*. Journal of Industrial Ecology, 11(2), 43-59 (Accessed on 20/10/2024).

Lombardi, D.R., Leach, J.M., Rogers, C.D.F. and Aston, R.T. (2012), *Designing Resilient Cities: A Guide to Good Practice*. IHS BRE Press (Accessed on 18/10/2024).

Losasso, M. (2020), "Processi innovativi per l'adattamento climatico nella rigenerazione dei distretti urbani / Innovating Processes for Climate Adaptation in Urban District Regeneration", in Losasso, M., Lucarelli, M.T., Rigillo, M. and Valente, R. (a cura di), *Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN) (Accessed on 20/10/2024).

Meerow, S., Newell, J. P. and Stults, M. (2016), *Defining urban resilience: A review*. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49 (Accessed on 18/10/2024).

Luciano Cupelloni (Ed.)
L'Albero della Tecnologia. Dagli elementi costruttivi alla progettazione tecnologica ambientale. Riflessioni sulla didattica della Tecnologia dell'architettura nella Scuola di Roma a 100 anni dalla fondazione
Gangemi Editore, 2023

Nelle sue riflessioni sulla tecnologia e sul ruolo e sulla funzione della tecnica, Silvano Tagliagambe asserisce che «la tecnologia è costitutivamente tensione verso il futuro e capacità di guardare al qui e ora attraverso la lente della contingenza e del possibile [...] la tecnologia è pensiero, necessariamente critico, orientato verso il costante superamento dei limiti raggiunti». Questa posizione, di carattere generale, costituisce una condizione di riferimento per il "saper fare tecnico" che è proprio dell'ambito disciplinare della Tecnologia dell'architettura, basato sull'interazione fra pensiero tecnico-scientifico e umanistico quale contributo critico e propositivo nella prospettiva di un auspicabile superamento di regole e convenzioni già note laddove queste si rivelassero inadeguate.
"Educare al progetto", più che "insegnare l'architettura", bene si addice alla specificità epistemologica e pedagogica della formazione dell'architetto. Come osserva Andrea Campioli, il problema non risiede tanto nel mettere in dubbio la possibilità di insegnare l'architettura quanto nel comprendere come costruire – in particolare nell'attuale contesto socioeconomico – percorsi formativi capaci di fornire agli studenti architetti quella sensibilità culturale e quelle competenze che sono richieste al ruolo che l'architetto dovrebbe essere chiamato a svolgere nella società.
In questi termini il volume "L'Albero della Tecnologia" – a cura di Luciano Cupelloni – si configura come un testo complesso che indaga, con una significativa retrospettiva, l'esperienza didattica condotta nell'ambito della Scuola di Tecnologia dell'architettura della Facoltà di Architettura di Roma. I temi trattati si inseriscono nel dibattito sui contenuti e sui metodi della didattica della Tecnologia dell'architettura, analizzandone criticamente il suo sviluppo nell'ambito di una delle sedi universitarie che hanno espresso contributi rilevanti per l'intera comunità scientifico-disciplinare.
L'opera è il risultato di una riflessione collettiva promossa in occasione del centenario della fondazione della Scuola di Roma istituita nel 1919; attraverso una lettura multidimensionale che intreccia teoria, ricerca e prassi progettuale, il testo propone un'analisi storica e metodologica dell'insegnamento della Tecnologia dell'architettura, evidenziandone le trasformazioni e il ruolo nell'evoluzione delle discipline progettuali e del rapporto fra progetto e tecnologia. L'utilizzo della metafora dell'"albero" è finalizzata a rappresentare la crescita della disciplina, rilevando le sue diramazioni tematiche e la sua complessità epistemologica. In questo senso, il volume offre un modello di lettura sistemico, in cui lo schema interpretativo è sviluppato secondo correlazioni molteplici tese a cogliere le interazioni tra didattica, ricerca e insegnamento della pratica progettuale.
Ne emerge un quadro stimolante di posizioni fondate sul valore didattico dell'opera architettonica costruita, sul necessario impegno per sviluppare una solida base teorica dei principi della disciplina e sulla complessità del progetto interpretato come sintesi di requisiti, prestazioni, concezioni spaziali, esigenze sociali.

In his reflections on technology and the role and function of technique, Silvano Tagliagambe asserts that "technology is inherently a tension toward the future and the ability to look at the here and now through the lens of contingency and possibility [...] technology is thought, and necessarily critical thought, oriented toward the constant overcoming of achieved limits." This general position serves as a reference condition for the "technical know-how" that characterizes the disciplinary field of Architectural Technology, based on the evolution of creative thinking and the interaction between technical-scientific and humanistic thought as a critical and proactive contribution in the perspective of a desirable overcoming of established rules and conventions whenever they prove inadequate.
"Educating for design" rather than "teaching architecture" is particularly suited to the epistemological and pedagogical specificity of architect training. As Andrea Campioli observes, the issue does not lie so much in questioning the possibility of teaching architecture as in understanding how to build educational pathways – especially in the current socio-economic context – capable of providing architecture students with the cultural sensitivity and skills required for the role that architects should be called upon to play in society.
In this framework, the volume "L'Albero della Tecnologia", edited by Luciano Cupelloni, emerges as a complex text that investigates, with a significant retrospective, the teaching experience conducted within the School of Architectural Technology at the Faculty of Architecture in Rome. The topics addressed contribute to the debate on the content and methods of teaching Architectural Technology, critically analyzing its development within one of the academic institutions that have made significant contributions to the entire scientific-disciplinary community.
The work results from a collective reflection promoted on the centenary of the founding of the Rome School, established in 1919. Through a multidimensional reading that intertwines theory, research, and design practice, the text offers a historical and methodological analysis of the teaching of Architectural Technology, highlighting its transformations and role in the evolution of design disciplines and the relationship between design and technology. The use of the "tree" metaphor aims to represent the growth of the discipline, illustrating its thematic branches and epistemological complexity. In this sense, the volume provides a systemic interpretative model, where the interpretive framework is developed through multiple correlations aimed at capturing the interactions between teaching, research, and the education of design practice.
What emerges is a stimulating picture of positions based on the didactic value of built architectural works, the necessary commitment to developing a solid theoretical foundation of disciplinary principles, and the complexity of design interpreted as a synthesis of requirements, performance, spatial concepts, and social needs.
The reflections and insights provided by various authors, faculty members of the Roman School, trace the numerous stages of the evolution of technological and environmental design, the transformation of teaching methods, and the impact of innovation on the educational process of architects

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17679

Le riflessioni e gli approfondimenti dei diversi autori, docenti della Scuola romana, riportano le numerose tappe dell'evoluzione della progettazione tecnologica e ambientale, la trasformazione dei metodi didattici e l'impatto dell'innovazione sul processo formativo dell'architetto attraverso un'articolazione definita in quattro sezioni principali, ciascuna delle quali affronta un aspetto chiave della didattica.
Sono indagati la complessità e le articolazioni della progettazione tecnologica – attraverso l'evoluzione della disciplina dalla tradizione tecnico-costruttiva alla progettazione sistemica e ambientale –, le innovazioni nei metodi di controllo della qualità progettuale – dalla manutenzione edilizia alla riqualificazione architettonica –, la progettazione ambientale come processo integrato.
Sono altresì affrontati con ricchezza di informazioni i contenuti disciplinari per la formazione dell'architetto attraverso l'analisi del percorso quinquennale e del passaggio al modello 3+2, nonché gli impatti delle trasformazioni didattiche sulla formazione professionale e il ruolo dei laboratori di sintesi nella didattica progettuale. Un aspetto rilevante affrontato nel volume riguarda la collocazione della tecnologia dell'architettura nello scenario internazionale attraverso il confronto tra i modelli didattici in Italia e quelli adottati nelle principali sedi universitarie, nei politecnici e nelle scuole di architettura europei, oltre a temi su cui si incentra una parte rilevante del dibattito quali l'evoluzione dei processi costruttivi, la digitalizzazione della progettazione, l'approccio sperimentale e l'innovazione tecnologica-ambientale. Nel volume sono riportati, inoltre, riflessioni sui temi della formazione alla ricerca e alla professione attraverso l'evoluzione dei Dottorati di Ricerca nelle discipline tecnologiche e ambientali, dei Master e dei percorsi di specializzazione nell'ambito della progettazione tecnologica e della riqualificazione urbana, del rapporto tra didattica, ricerca applicata e pratica professionale.
Il testo adotta un approccio storico-critico fondato sull'analisi documentale e sulla ricostruzione delle principali tappe evolutive della didattica della Tecnologia dell'architettura basandosi su fonti archivistiche riguardanti i programmi didattici, i piani di studio e i regolamenti accademici, le testimonianze dirette dei docenti che hanno contribuito alla definizione del settore disciplinare.
Il volume si configura come un importante contributo alla riflessione sulla didattica dell'architettura. Tra i principali contributi al dibattito sul rapporto fra formazione e ricerca, si evidenziano sia la necessità di un approccio interdisciplinare che integri le competenze tecniche con le tematiche ambientali e socioeconomiche, sia l'importanza di proseguire l'esperienza di una didattica laboratoriale e sperimentale, capace di superare la dicotomia tra teoria e prassi progettuale, basandosi sul ruolo strategico della tecnologia nel ridefinire i modelli formativi dell'architetto contemporaneo. Inoltre, il volume si inserisce nel filone di studi sulla metodologia della progettazione tecnologica, inquadrata nell'equilibrio tra materiale e immateriale, tra principi scientifici e umanistici, tra tecnica e poetica.
Gli esiti del volume sono stati discussi nel novembre 2024 in una giornata di studio, organizzata presso la Facoltà di Architettura di Roma Sapienza, in cui gli autori, insieme ad altri studiosi della disciplina, hanno avuto l'occasione di riflettere in modo strutturato sulle tematiche e sulle tesi esposte nel testo, rappresentando un contributo significativo per la comprensio-

through an articulation structured into four main sections, each addressing a key aspect of teaching.
The complexity and articulations of technological design are explored through the evolution of the discipline from technical-construction tradition to systemic and environmental design, innovations in methods of controlling design quality from building maintenance to architectural redevelopment, and environmental design as an integrated process.
Additionally, the volume provides extensive information on the disciplinary content essential for architect training, analyzing the five-year curriculum and the transition to the 3+2 model, as well as the impact of educational transformations on professional training and the role of synthesis laboratories in design education. A significant aspect covered in the book concerns the positioning of Architectural Technology within the international landscape through a comparison between teaching models in Italy and those adopted in leading universities, polytechnics, and architecture schools across Europe. Other central themes in the debate include the evolution of construction processes, digitalization in design, experimental approaches, and technological-environmental innovation.
Moreover, the volume includes reflections on research and professional training through the evolution of doctoral programs in technological and environmental disciplines, master's degrees, and specialization pathways in technological design and urban regeneration, as well as the relationship between teaching, applied research, and professional practice.
The text adopts a historical-critical approach based on documentary analysis and the reconstruction of key evolutionary stages in the teaching of Architectural Technology, relying on archival sources concerning curricula, study plans, and academic regulations, as well as firsthand testimonies from professors who have contributed to defining the disciplinary field.
The volume represents a significant contribution to the reflection on architectural education. Among the key contributions to the debate on the relationship between education and research, the need for an interdisciplinary approach that integrates technical skills with environmental and socio-economic themes stands out, as does the importance of continuing the experience of laboratory-based and experimental teaching, capable of overcoming the dichotomy between theory and design practice by leveraging the strategic role of technology in redefining educational models for contemporary architects. Furthermore, the volume aligns with studies on the methodology of technological design, positioned at the intersection of material and immaterial, scientific and humanistic principles, and technique and poetics.
The volume's findings were discussed in November 2024 during a study day organized at the Faculty of Architecture at Sapienza University of Rome, where the authors, along with other scholars of the discipline, had the opportunity to reflect in a structured manner on the themes and arguments presented in the text. This event represented a significant contribution to understanding the evolution of teaching practices and serves as a reference for scholars, educators, and researchers interested in the relationship between technology, design, environment, and architect training.

ne dell'evoluzione della didattica e un riferimento per studiosi, docenti e ricercatori interessati alla relazione tra tecnologia, progetto, ambiente e formazione dell'architetto.
Come afferma il curatore del volume, partendo dalle parole di Paul Klee del 1924, che vedeva nell'artista la capacità di trametter nell'opera "ciò che ha visto", «la Tecnologia – intesa come metodo scientifico e strumento tecnico – è stata creativa e capace di osservare e di tradurre "ciò che ha visto", di dispiegarsi come la chioma dell'albero mossa dal fluire del punto di vista».

Alessandro Claudi de Saint Mihiel
https://orcid.org/0000-0002-4466-0508

As the editor of the volume states, drawing on Paul Klee's words from 1924, in which the artist was seen as possessing the ability to convey in their work "what they have seen" «Technology, understood as a scientific method and technical tool, has been creative and capable of observing and translating "what it has seen", unfolding like the foliage of a tree moved by the flow of perspective».

a cura di/*edited by* **Antonello Monsù Scolaro,** https://orcid.org/0000-0001-9714-9140

Il paradigma "Industria 5.0": potenzialità e barriere verso la decarbonizzazione del settore

Antonello Monsù Scolaro[1] e Davide Settembre Blundo[2]
[1] Professore associato presso la Università degli Studi di Sassari, https://orcid.org/0000-0001-9714-9140.
[2] Innovability Manager di Gresmalt SpA, Sassuolo

Dal 2018, a partire dal numero 16 della rivista, Alessandro Claudi de Saint Mihiel ha curato questa rubrica con grande dedizione, esplorando in profondità i temi della cultura tecnologica, declinati in termini di innovazione di processo, prodotto e progetto. Ora, raccogliendo il testimone di questa significativa esperienza, si propone una riflessione che risponda alla call di questo numero, con l'obiettivo di evidenziare lo sforzo richiesto agli operatori della filiera industriale per adeguarsi ai prossimi obiettivi di decarbonizzazione del settore, con un focus sull'industria ceramica, dai pesanti impatti ambientali correlati.

La prima rivoluzione industriale, iniziata nella seconda metà del '700, introdusse la macchina a vapore, che rivoluzionò i settori tessile e metallurgico meccanizzandone la produzione. La seconda rivoluzione, avviata intorno al 1870, vide l'avvento dell'elettricità, del motore a scoppio e del petrolio come nuova fonte energetica. La terza rivoluzione, risalente agli anni '70 del Novecento, portò l'informatica, l'automazione industriale e l'IT (Information Technology), aprendo la strada all'era digitale. La quarta rivoluzione industriale, nota come Industria 4.0, si affermava ufficialmente nel 2011 durante la fiera di Hannover: con l'introduzione nei processi produttivi dell'IoT, della robotica avanzata, dei big data e dell'intelligenza artificiale, questa rivoluzione poneva l'efficienza e l'automazione al centro, ridimensionando il ruolo umano per ottimizzare costi e produttività. Nel 2020, la pandemia da COVID-19 ha accelerato un cambio di paradigma. Il report "Protect, Prepare and Transform Europe: Recovery and Resilience Post-COVID-19" della Commissione Europea ha sottolineato l'importanza di sistemi produttivi resilienti e sostenibili. Nel 2022, il policy brief "Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe" definisce l'impegno dell'UE verso un modello produttivo sostenibile, basato sull'economia circolare e sul disaccoppiamento tra crescita economica e sfruttamento delle risorse. Il nuovo paradigma pone al centro i lavoratori, promuove la resilienza economica e ambientale, e sfrutta le tecnologie digitali per ridurre scarti e impatti ambientali, orientando verso la giustizia sociale e sostenibilità.

L'UE identifica sei tecnologie abilitanti per Industria 5.0: 1) interazione personalizzata uomo-macchina; 2) materiali intelligenti e tecnologie ispirate alla natura; 3) digital twin per simulare processi produttivi; 4) utilizzo consapevole dei big data; 5) intelligenza artificiale; 6) tecnologie per l'efficienza energetica. Questo approccio mira a coniugare il benessere dei lavoratori, la riduzione degli impatti ambientali e l'ottimizzazione dei prodotti. Il Piano industriale del Green Deal Europeo per un'economia a zero emissioni nette integra queste tecnologie e richiede interventi strutturali: un contesto normativo prevedibile, accesso rapido ai finanziamenti, sviluppo delle competenze e filiere resilienti. Questi obiettivi rispondono alla consapevolezza del 24% delle emissioni globali di gas serra da parte dei cicli industriali, che salgono al 34% includendo generatori di calore ed energia. In Europa, sei comparti produttivi (minerali non metallici, ferro e acciaio, chimica, petrolio, carta e metalli non ferrosi) contribuiscono al 78% delle emissioni totali di gas serra.

The "Industry 5.0" paradigm: opportunities and barriers to industrial decarbonization

Since 2018, with issue 16, Alessandro Claudi de Saint Mihiel has been responsible for the curation of this column, exploring in depth the themes of technological culture, with a focus on process, product and project innovation. Building on this substantial experience, the present reflection responds to the call of this issue, with the aim of highlighting the effort required from operators in the industrial supply chain to adapt to the upcoming decarbonization goals of the sector, with a focus on the ceramic industry, highly impactful on the environment.

The first industrial revolution, which began in the second half of the 1700s, introduced the steam engine, which revolutionized the textile and metal sectors by mechanizing their production. The second industrial revolution, which commenced around 1870, witnessed the advent of electricity, the internal combustion engine and oil as a novel energy source. The third industrial revolution, dating back to the 1970s, ushered in information technology, industrial automation and IT (Information Technology), thereby paving the way for the digital age. The fourth industrial revolution, known as Industry 4.0, was officially established in 2011 during the Hanover Fair. The advent of technologies such as the Internet of Things (IoT), advanced robotics, big data and artificial intelligence into manufacturing processes has resulted in a paradigm shift towards efficiency and automation. This has led to a reduction in the human role, with the objective being to optimize costs and productivity. The advent of the pandemic of the novel strain of severe acute respiratory syndrome (SARS-CoV-2) in 2020 precipitated a paradigm shift. The European Commission's "Protect, Prepare and Transform Europe: Recovery and Resilience Post-COVD-19" report emphasized the significance of resilient and sustainable production systems. In 2022, the policy brief "Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe" signaled the EU's commitment to a sustainable production model, based on the circular economy and the decoupling of economic growth and resource use. This new paradigm places workers at the center, promoting economic and environmental resilience, and leveraging digital technologies to reduce waste and environmental impacts while improving social justice and sustainability.

The European Union has identified six enabling technologies for Industry 5.0: 1) personalized human-machine interaction; 2) Smart materials and nature-inspired technologies; 3) Digital twin to simulate production processes; 4) Informed use of big data; 5) Artificial intelligence; and 6) Energy efficiency technologies. This approach aims to combine worker well-being, reduced environmental impacts and product optimization. The European Green Deal Industrial Plan for a net-zero economy integrates these technologies and calls for structural interventions, including a predictable regulatory environment, rapid access to finance, skills development, and resilient supply chains. This is in response to the realization that industrial processes are responsible for 24 per cent of global greenhouse gas emissions, rising to 34 per cent when including heat and power generators. In Europe, six manufacturing sectors (non-metallic minerals, iron and steel, chemicals, petroleum, paper, and non-ferrous metals) contribute 78 percent of total greenhouse gas emissions. By

ISSN online: 2239-0243 | © 2025 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.36253/techne-17680

Per il 2030, il Green Deal punta a ridurre le emissioni del 55% rispetto al 1990, riducendo il consumo di carbone del 70%, di petrolio del 30% e di gas del 25%, con un aumento delle energie rinnovabili al 38-40% del consumo finale lordo. Ciò richiede miglioramenti nell'approvvigionamento energetico, efficienza produttiva, riciclo e gestione del carbonio (CCUS).

L'Industria 5.0 promette di apportare benefici significativi: maggiore produttività e competitività aziendale, migliori condizioni di lavoro grazie all'automazione, ottimizzazione delle risorse e riduzione delle emissioni di CO_2. Tecnologie come l'IoT permetteranno di monitorare in tempo reale consumi ed emissioni, mentre l'intelligenza artificiale e la robotica collaborativa ottimizzeranno i processi produttivi aumentando la flessibilità. Molte aziende stanno trasformando i propri modelli di business, passando da processi lineari a sistemi circolari. Le innovazioni nei materiali, nei processi e nella logistica stanno rivoluzionando il settore, rendendolo più sostenibile e competitivo. Tuttavia, questa trasformazione richiede un cambiamento di paradigma che coinvolga l'intera filiera industriale.

Il settore della ceramica, con consumi elevati di risorse naturali (circa 20 kg/m² di materiali, 3 m³/m² di metano e 3,5 kWh/m² di elettricità), ha già compiuto progressi significativi verso una maggiore sostenibilità, ma ci sono ancora delle barriere da superare. Gresmalt Group, leader del settore e impegnato in una transizione green, rappresenta un caso esemplare. Grazie al suo impegno nell'innovazione e nella sostenibilità, Gresmalt è stata invitata a condividere le sfide e le opportunità di questa trasformazione, contribuendo al dibattito sul futuro dell'industria ceramica.

L'industria ceramica italiana è al centro di un processo di trasformazione complesso e ambizioso verso la sostenibilità e la decarbonizzazione. In questo contesto, il paradigma dell'Industria 5.0 offre una visione promettente che integra tecnologie avanzate, economia circolare e centralità umana, ma richiede un cambiamento profondo nei modelli di business, nei processi produttivi e nella gestione delle supply chain. L'integrazione di tecnologie abilitanti come l'intelligenza artificiale (IA), i digital twin e l'automazione avanzata rappresenta un'opportunità senza precedenti per il settore ceramico. Nel caso di Gresmalt Group, queste innovazioni sono già in fase di implementazione, con risultati significativi. Grazie all'adozione di sensori IoT e di sistemi di monitoraggio avanzati, Gresmalt è riuscita a migliorare la gestione dell'energia e delle risorse, riducendo del 21,8% le emissioni Scope 1 e Scope 2 (Market-Based) nel 2023 rispetto al 2022. Il controllo in tempo reale dei consumi e delle emissioni ha permesso di ottimizzare i processi, riducendo gli sprechi e aumentando la produttività.

La transizione verso modelli di produzione circolari, supportata da tecnologie di riciclo avanzate, permette di ridurre l'uso di materie prime vergini e di promuovere l'utilizzo di materiali riciclati conformi agli standard ISO 17889-1. Nel 2023, il 20-25% delle materie prime utilizzate da Gresmalt era costituito da materiali riciclati certificati, consentendo una significativa riduzione dell'impatto ambientale. L'uso dei digital twin consente di simulare i processi produttivi in ambienti virtuali, identificando aree di miglioramento e riducendo il rischio di errori. Questo approccio ha accelerato i cicli di sviluppo di nuovi prodotti sostenibili realizzati con la tecnologia G3NIUS, che ha permesso di ridurre del 32% l'impronta di carbonio rispetto alla media del settore per prodotti con uno spessore di 7,4 mm. L'adozione di tecnologie collaborative nelle fabbriche

2030, the Green Deal aims to reduce emissions by 55 percent compared to 1990, reducing coal consumption by 70 percent, oil by 30 percent, and gas by 25 percent, with renewable energy increasing to 38-40 percent of gross final consumption. This necessitates advancements in energy supply, production efficiency, recycling, and carbon management (CCUS).

Industry 5.0 promises significant benefits: increased productivity and business competitiveness, better working conditions through automation, resource optimization and reduced CO_2 emissions. Technologies such as IoT enable real-time monitoring of consumption and emissions, while artificial intelligence and collaborative robotics optimize production processes and increase flexibility. Many companies are transforming their business models from linear processes to circular systems. Innovations in materials, processes and logistics are revolutionizing industry, making it more sustainable and competitive. However, this transformation requires a paradigm shift that involves the entire industrial supply chain.

The ceramics industry, with its high consumption of natural resources (around 20 kg/m² of materials, 3 m³/m² of methane and 3.5 kWh/m² of electricity), has already made significant progress towards greater sustainability, but there are still barriers to overcome. The Gresmalt Group, an industry leader committed to a green transition, is a case in point. Through its commitment to innovation and sustainability, Gresmalt was invited to share the challenges and opportunities of this transformation and contribute to the debate on the future of the ceramics industry.

The Italian ceramic industry is currently undergoing a complex and ambitious transformation process towards sustainability and decarbonization, with the Industry 5.0 paradigm offering a promising vision that integrates advanced technologies, the circular economy and human-centricity. However, this vision requires a profound change in business models, production processes and supply chain management. The integration of enabling technologies such as artificial intelligence (AI), digital twins and advanced automation represents an unprecedented opportunity for the ceramics industry. For instance, the Gresmalt Group has successfully implemented these innovations, achieving notable outcomes. By adopting IoT sensors and sophisticated monitoring systems, Gresmalt has enhanced its energy and resource management, leading to a substantial reduction in Scope 1 and Scope 2 (Market-Based) emissions, with a 21.8 percent decrease in 2023 compared to 2022. Real-time monitoring of consumption and emissions has facilitated the optimisation of processes, leading to a reduction in waste and an enhancement in productivity.

The transition to circular production models, facilitated by advanced recycling technologies, has enabled a reduction in the use of virgin raw materials and a promotion of the use of recycled materials that comply with ISO 17889-1 standards. By 2023, 20-25% of the raw materials utilized by Gresmalt were certified as recycled materials, thereby enabling a substantial reduction in environmental impact. The utilization of digital twins enables the emulation of production processes within virtual environments, facilitating the identification of areas for enhancement and the mitigation of error. This approach has accelerated the development cycles of new sustainable products made with G3NIUS technology, which has reduced the carbon

ha permesso di eliminare le attività ripetitive e usuranti per gli operatori, aumentando la sicurezza e il benessere sul lavoro. Inoltre, l'installazione di un impianto fotovoltaico da 3 MWp rappresenta un passo cruciale verso l'autosufficienza energetica e la decarbonizzazione.

Nonostante queste potenzialità, permangono diverse barriere che ostacolano una transizione completa e uniforme verso l'Industria 5.0. L'adozione di tecnologie avanzate richiede investimenti significativi in termini di capitale, infrastrutture e formazione. Per un settore composto anche da PMI, come quello ceramico, questi costi rappresentano un ostacolo significativo. La transizione verso l'Industria 5.0 richiede competenze altamente specializzate. La formazione di personale tecnico in grado di gestire e ottimizzare sistemi complessi rappresenta una sfida per molte aziende, Gresmalt compresa. La mancanza di una regolamentazione armonizzata a livello europeo e nazionale per sostenere la transizione crea incertezze, in particolare riguardo all'adozione di soluzioni basate su tecnologie emergenti come il CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage). La decarbonizzazione richiede un accesso diffuso a fonti di energia rinnovabile. Tuttavia, le infrastrutture attuali, in particolare nei distretti ceramici italiani, non sono in grado di soddisfare la crescente domanda di energia pulita. La trasformazione dei modelli di business e delle pratiche consolidate richiede un cambiamento di mentalità lungo tutta la filiera produttiva. Le imprese devono affrontare resistenze interne ed esterne, derivanti da una mancanza di comprensione delle opportunità offerte dall'Industria 5.0.

Per superare queste barriere, è fondamentale un approccio collaborativo tra industria, istituzioni accademiche e responsabili politici. Gresmalt sta promuovendo attivamente la partecipazione a progetti di ricerca e sviluppo in collaborazione con università e altre imprese per sviluppare soluzioni avanzate che migliorino la tracciabilità delle risorse e l'uso dell'energia. Inoltre, il *reshoring*, che incoraggia l'uso di materie prime locali e lo sviluppo di *supply chain* resilienti, rappresenta un'opportunità per allineare il settore ceramico agli obiettivi del Green Deal europeo. La progettazione di architetture digitali per il monitoraggio e la gestione dei dati industriali rappresenta un ulteriore passo verso una produzione intelligente e sostenibile. La transizione verso l'Industria 5.0 e la decarbonizzazione richiede un impegno sistemico e coordinato. Per Gresmalt, questo percorso non è solo una necessità per conformarsi alle normative future, ma anche un'opportunità per ridefinire il proprio ruolo di leader nella sostenibilità e nell'innovazione del settore ceramico. Attraverso investimenti mirati in tecnologie avanzate e collaborazioni strategiche, l'azienda mira a trasformare le barriere in opportunità, dimostrando che un'industria energivora può diventare un modello di sostenibilità. La sfida è ambiziosa, ma in gioco c'è il futuro stesso dell'industria ceramica in un mondo sempre più orientato verso la neutralità climatica.

footprint by 32 percent compared to the industry average for products with a thickness of 7.4 mm. The integration of collaborative technologies within industrial environments has led to the elimination of repetitive and arduous tasks for operators, thereby enhancing safety and well-being at work. Furthermore, the implementation of a 3 MWp photovoltaic system is a pivotal step in achieving energy self-sufficiency and decarbonization.

Notwithstanding this potential, there are several barriers to a complete and smooth transition to Industry 5.0. The implementation of advanced technologies necessitates substantial investments in capital, infrastructure, and training. For a sector comprising numerous SMEs, such as the ceramic industry, these costs are a considerable hindrance. The transition to Industry 5.0 demands highly specialized skills. Training technical personnel to manage and optimize complex systems poses a significant challenge for many companies, including Gresmalt. The absence of harmonized regulation at both the European and national levels introduce considerable uncertainty, particularly regarding the adoption of solutions reliant upon emerging technologies such as CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage). Achieving decarbonization targets is predicated on the availability of renewable energy sources. However, the current infrastructure, particularly in Italy's ceramic districts, is unable to meet the growing demand for clean energy. A fundamental transformation of business models and established practices is therefore required, and this in turn will require a change in mindset throughout the supply chain. Companies encounter resistance to this transition from both within their own organizations and from external actors, stemming from a lack of understanding of the opportunities offered by Industry 5.0.

To overcome the aforementioned barriers, a collaborative approach between industry, academic institutions, and policymakers is essential. Gresmalt is proactively engaging in research and development projects in partnership with academic institutions and other companies. These collaborative efforts aim to develop advanced solutions that enhance resource tracking and reduce energy consumption. Additionally, reshoring, which entails the utilization of local raw materials, and the cultivation of resilient supply chains, presents a significant opportunity to align the ceramics sector with the objectives of the European Green Deal. The development of digital architectures for the monitoring and management of industrial data represents a significant stride towards achieving smart and sustainable manufacturing. The transition to Industry 5.0 and decarbonization necessitates a systemic and coordinated effort. For Gresmalt, this transition is not merely a compliance requirement; it presents a pivotal opportunity to redefine its role as a frontrunner in sustainability and innovation within the ceramics sector. Through strategic investments in advanced technologies and the establishment of partnerships, the company aims to transform challenges into opportunities, thereby demonstrating the potential of an energy-intensive industry to evolve into a paradigm of sustainability. While the challenge is ambitious, the ceramics industry's future in a climate-neutral world is at stake.