

Conessioni verdi: soluzioni adattive, integrate e basate sulla natura per i centri storici urbani

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Danila Longo, <https://orcid.org/0000-0002-7516-7556>
Rossella Roversi, <https://orcid.org/0000-0002-6192-3437>
Martina Massari, <https://orcid.org/0000-0002-5483-5869>
Kristian Fabbri, <https://orcid.org/0000-0003-0919-7455>
Riccardo Mercuri, <https://orcid.org/0009-0001-8344-4517>

Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Italia

danila.longo@unibo.it
rossella.roversi@unibo.it
m.massari@unibo.it
kristian.fabbri@unibo.it
riccardo.mercuri2@unibo.it

Abstract. Intervenire nello spazio urbano con azioni di adattamento e mitigazione, tramite interventi basati sulla natura, favorisce il processo di transizione ecologica necessario per affrontare le sfide del cambiamento climatico. Questi interventi risultano spesso discontinui e disconnessi, specialmente all'interno di tessuti urbani densi e delicati, come i centri storici. La ricerca propone un approccio metodologico multi-scalare volto a definire uno strumento integrato di progettazione per migliorare il benessere microclimatico, l'accessibilità e la qualità estetica di spazi aperti, situati in ambienti urbani consolidati. Attraverso la sinergia tra componenti naturali, tecnologiche e sociali, si mira a creare unità minime di intervento replicabili, volte a favorire connessioni democratiche e ecosistemiche.

Parole chiave: Transizione ecologica; Interventi basati sulla natura; Benessere microclimatico; partecipazione; Rigenerazione urbana.

Introduzione

La transizione ecologica rappresenta un percorso in cui individui, comunità locali e istituzioni, attraverso l'integrazione di politiche e opere pubbliche, processi di *commoning* e iniziative private, cooperano per raggiungere la neutralità climatica. Gli spazi aperti, in particolare quelli pubblici, emergono come contesti privilegiati per sperimentare approcci progettuali sinergici in grado di rispondere alle sfide poste dalla fragilità climatica e sociale. Ambienti più permeabili, accessibili e flessibili possono contribuire a ridurre le disuguaglianze di salute legate ai rischi climatici e al disagio socioeconomico. Gli strumenti di pianificazione come i Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima¹ o l'aggiornamento del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici² impongono

no alle città e ai territori di attivare processi di rigenerazione delle risorse ambientali, la tutela e la valorizzazione delle risorse culturali e sociali. Inoltre, il Parlamento Europeo ha adottato (febbraio 2024) la prima Legge sul ripristino della natura³, con obiettivi ambiziosi di ripristino degli ecosistemi entro il 2050 anche in aree urbane. Una delle misure strategiche di maggiore efficacia riguarda la progettazione e valorizzazione di "Infrastrutture Verdi" (Cascone, 2023). Il dispositivo dell'Infrastruttura Verde (IV), come definito dalla Commissione Europea, va oltre la sommatoria di spazi aperti vegetati e si riferisce a una rete strategicamente pianificata di aree naturali e seminaturali, che fornisce una vasta gamma di servizi ecosistemici. Tali servizi includono, ad esempio, la purificazione dell'acqua, il miglioramento della qualità dell'aria, la fornitura di spazi ricreativi e il contributo alla mitigazione e all'adattamento al clima. Le IV hanno l'obiettivo di migliorare la qualità dell'ambiente, le condizioni e la connettività delle aree naturali, nonché la salute e la qualità della vita dei cittadini (EC 2024, Nieuwenhuijsen 2021).

Il ritorno a un concetto per cui la natura diventa un'esperienza quotidiana nella vita dei cittadini assume un ruolo fondamentale nel legittimare lo spazio pubblico all'interno del dibattito sulla città della prossimità (Manzini, 2021). Parchi, giardini, viali alberati svolgono un ruolo di primo piano nella strutturazione dello spazio aperto in generale, contribuendo sempre di più a definire l'idea di città come paesaggio urbano (Sabbion and Tucci, 2017).

Green Connections: Adaptive, Integrated, and Nature-Based Solutions for Urban Historic Centres

Abstract. Choosing adaptation and mitigation actions, through nature-based solutions, fosters the ecological transition process, which is necessary to face the challenges of climate change. However, these interventions are often discontinuous and disconnected, especially within dense and delicate urban fabrics such as historic centres. The research proposes a multi-scalar methodological approach aimed at defining an integrated design tool to improve the microclimatic well-being, accessibility and aesthetic quality of open spaces located in consolidated urban environments. Through the synergy between natural, technological and social components, the aim is to create replicable minimum intervention units designed to foster democratic and ecosystemic connections.

Keywords: Ecological transition; Nature-based interventions; Microclimatic well-being; Participation; Urban regeneration.

Introduction

Ecological transition is a path where individuals, local communities, and institutions, through the integration of policies and public works, common processes, and private initiatives, cooperate to achieve climate neutrality. Open spaces, particularly public ones, emerge as privileged contexts to experiment with synergistic design approaches capable of addressing the challenges posed by climate and social fragility. More permeable, accessible, and flexible environments can contribute to reducing health inequalities related to climate risks and socioeconomic discomfort. Planning tools such as Sustainable Energy and Climate Action Plans¹ or the new National Plan for Climate Change Adaptation² require cities and territories to activate regeneration processes of environmental resources, combining the pro-

tection and enhancement of cultural and social resources. Furthermore, the European Parliament adopted (Feb, 2024) the first Nature Restoration Law³ with ambitious goals for restoring ecosystems by 2050. One of the most effective strategic measures concerns the design and enhancement of "Green Infrastructures" (Cascone, 2023). The Green Infrastructure (GI) concept, as defined by the European Commission, goes beyond the sum of vegetated open spaces and refers to a strategically planned network of natural and semi-natural areas, providing a wide range of ecosystem services. These services include water purification, air quality improvement, provision of recreational spaces, and contribution to climate mitigation and adaptation. GIs aim to improve environmental quality, the conditions and connectivity of natural areas, as well as the health

In questa prospettiva, molti studiosi stanno adattando gli strumenti e le lenti interpretative offerte dall'approccio ecosistemico allo sviluppo del territorio urbano, tra cui le principali sono le *Nature Based Solutions* (NBS) (Scott *et al.*, 2016; Andersson *et al.*, 2014). Le NBS sono un concetto utilizzato per la prima volta alla fine degli anni 2000, introdotto nell'agenda di Ricerca e Innovazione dell'UE (Eggermont *et al.*, 2015, EC 2015) e definito nel 2022 dall'Assemblea delle Nazioni Unite per l'Ambiente come «azioni per proteggere, conservare, ripristinare, utilizzare in modo sostenibile e gestire gli ecosistemi naturali o modificati terrestri, [...] fornendo contemporaneamente benessere umano, servizi ecosistemici, resilienza e benefici per la biodiversità» (UN 2022).

In questo contesto risulta particolarmente interessante approfondire il ruolo delle NBS spostando l'attenzione dalle singole emergenze ai diffusi elementi di qualità del sistema delle connessioni ambientali, fruttive e funzionali.

La "densità organica" diventa il substrato per la creazione di corridoi ecologici che collegano le diverse centralità urbane, facilitando la socializzazione tra gli abitanti. Le soluzioni basate sulla natura agiscono come catalizzatori per mitigare e adattarsi ai cambiamenti climatici, ma devono essere specifiche per il contesto e rispondere alle esigenze sociali e ambientali, sia a livello di quartiere che urbano e metropolitano.

Il presente contributo riporta il lavoro di ricerca e mette a sistema le riflessioni avanzate in due progetti finanziati dall'UE nell'ambito del programma NextGeneration EU: CHANGES_ Cultural Heritage Active Innovation for next-gen sustainable society (Progetto PE 0000020 CHANGES, CUP B53C22003780006, PNRR Missione 4 Componente 2

and quality of life of citizens (EC 2024, Nieuwenhuijsen 2021). Returning to a concept where nature becomes a daily experience in citizens' lives plays a fundamental role in legitimising public space within the debate on the city of proximity (Manzini, 2021). Parks, gardens, tree-lined avenues play a leading role in structuring open space in general, increasingly contributing to defining the idea of the city as an urban landscape (Sabbion and Tucci, 2017). In this perspective, many scholars are adopting tools and interpretative lenses offered by the ecosystem approach to urban development, among which the main ones are Nature-Based Solutions (NBS) (Scott *et al.*, 2016; Andersson *et al.*, 2014; Haase *et al.*, 2014). NBS is a concept first used in the late 2000s, introduced into the EU Research and Innovation agenda (Eggermont *et al.*, 2015, EC 2015), and defined in 2022

by the United Nations Environment Assembly as «actions to protect, conserve, restore, and sustainably manage natural or modified terrestrial ecosystems, [...] while simultaneously providing human well-being, ecosystem services, resilience, and biodiversity benefits» (UN 2022). In this context, it is particularly interesting to deepen the dual role played by natural solutions by shifting focus from individual emergencies to widespread elements of quality in the system of environmental, enjoyable, and functional connections. The "organic density" becomes the substrate for the creation of ecological corridors that connect different urban centralities, facilitating socialisation among inhabitants. Nature-based solutions (NBS) act as catalysts to mitigate and adapt to climate change, but they must be context-specific and respond to social and environmental

Investimento 1.3) ed ECOSISTER _ Ecosystem for sustainable transition in Emilia-Romagna (ECS_00000033, CUP B33D21019790006, PNRR Missione 4, Componente 2, Investimento 1.5). Gli obiettivi e gli ambiti caratterizzanti i due progetti sono sintetizzabili nel supporto alla transizione ecologica del sistema economico e sociale emiliano-romagnolo nei contesti urbani (ECOSISTER), e nella promozione di nuovi approcci sostenibili per l'attrattività e salvaguardia delle città storiche, attraverso l'attivazione di processi di collaborazione e partenariato pubblico-privato (CHANGES).

Entrambi i progetti di ricerca intendono le opere pubbliche come occasione per innescare processi di rigenerazione sostenibile, di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici all'interno di contesti urbani fortemente consolidati, come – ad esempio – i centri storici, attraverso l'integrazione di componenti naturali e artificiali, sinergicamente combinate tra loro.

Obiettivi, metodologia e articolazione della ricerca

L'approccio metodologico multi-scalare adottato nei due progetti è finalizzato alla definizione

di uno strumento integrato per accompagnare la progettazione di strategie orientate a migliorare il benessere microclimatico, l'accessibilità, l'inclusività e la qualità estetica di spazi aperti situati in ambienti urbani consolidati. In particolare, si concentra sullo sviluppo di una metodologia trasversale per affrontare le sfide poste dalle isole di calore urbane (*Urban Heat Island* – UHI) e dalle ondate di calore urbane (*Urban Heat Waves* – UHW), con particolare attenzione ai cittadini più vulnerabili che ne subiscono gli effetti (REF EEA, 2022; Direzione Generale Ambiente della CE, 2023).

needs, both at the neighbourhood and urban/metropolitan levels.

This contribution reports on research work, integrating reflections presented in two projects funded by the EU under the NextGeneration EU programme: CHANGES_ Cultural Heritage Active Innovation for next-gen sustainable society (Project PE 0000020 CHANGES, CUP B53C22003780006, PNRR Mission 4 Component 2 Investment 1.3) and ECOSISTER _ Ecosystem for sustainable transition in Emilia-Romagna (ECS_00000033, CUP B33D21019790006, NRRP Mission 4, Component 2, Investment 1.5). The contribution combines the objectives and characteristic areas of the two projects: support for the ecological transition of the economic and social system of Emilia-Romagna in urban contexts (ECOSISTER), and promotion of new sustainable approaches to

the attractiveness and safeguarding of historic cities, through the activation of processes of collaboration and public-private partnership (CHANGES). The research projects view public works as an opportunity to trigger sustainable regeneration processes, climate change mitigation, and adaptation within highly consolidated urban contexts, such as historic centres, through the integration of natural and artificial components synergistically combined with each other.

Objectives, methodology, and research articulation

The research in question is characterised by a multi-scale methodological approach aimed at defining an integrated tool to accompany the design of strategies aimed at improving microclimatic well-being, accessibility, inclusivity, and aesthetic quality of open

Gli interventi sono progettati per innescare processi di trasformazione in aree vulnerabili sia dal punto di vista climatico che sociale. Inoltre, gli spazi aperti interessati rappresentano elementi di riconnessione delle Infrastrutture Verdi, che devono agire come reti e ecosistemi integrati. La città di Bologna è stata scelta come caso studio per testare la metodologia sviluppata in questo contesto di ricerca. Secondo l'Osservatorio Climatico Regionale ARPAE dell'Emilia-Romagna, la temperatura media annua di Bologna aumenterà da 13,9° a 15,6° nell'arco temporale 2020-2050, con un aumento delle ondate di calore e delle notti tropicali e una riduzione dei giorni di pioggia. Questo scenario ha portato l'amministrazione a dichiarare l'emergenza climatica nel 2019 e a adottare una serie di strategie per la valorizzazione del verde urbano e del patrimonio arboreo. Inoltre, Bologna è stata selezionata tra le città europee che prenderanno parte alla Missione dell'UE "100 climate-neutral and smart cities by 2030". Pertanto, la città deve accelerare il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, intervenendo sia sulle politiche sia proponendo azioni di transizione concrete, recependo le indicazioni provenienti dalla nuova Assemblea Cittadina per il Clima approvate dal Consiglio Comunale, tradotte in linee-guida operative e in strumenti di programmazione per il Comune.

In questo quadro l'amministrazione punta sul potenziamento delle Infrastrutture Verdi attraverso il progetto Impronta Verde (Orioli, 2023), che mira allo sviluppo e alla valorizzazione di un sistema di parchi urbani a scala metropolitana. Penetrando nell'ambiente urbano, tuttavia, le IV si fondono con gli altri sistemi dell'ambiente costruito e della mobilità: ciò provoca censure, frammentazioni e interruzioni della loro continuità, che

spaces located in consolidated urban environments. In particular, they focus on the development of a cross-cutting methodology to address the challenges posed by urban heat islands (UHI) and urban heat waves (UHW), with particular attention to the most vulnerable citizens affected by their effects. Interventions are designed to trigger transformation processes in vulnerable areas from both climatic and social perspectives. Furthermore, the open spaces involved represent elements of reconnection of Green Infrastructures, which must act as integrated networks and ecosystems. The city of Bologna has been chosen as a case study to test the methodology developed in this research context. According to the Regional Climate Observatory ARPAE of Emilia-Romagna, the average annual temperature of Bologna will increase from 13.9°C to 15.6°C in the

time span 2020-2050, with an increase in heat waves and tropical nights, and a reduction in rainy days. This scenario led the administration to declare a climate emergency in 2019, and to adopt a series of strategies for the enhancement of urban greenery and tree heritage. Furthermore, Bologna has been selected among the European cities participating in the EU Mission "100 climate-neutral and smart cities by 2030". Therefore, the city must accelerate the achievement of decarbonisation objectives, intervening both on policies and proposing concrete transition actions, incorporating the indications coming from the new City Assembly for Climate approved by the City Council and translated into operational guidelines and programming tools for the Municipality. In this context, the administration aims to enhance Green Infrastructures

ne minano la logica e il funzionamento sistemico. L'impatto di questa discontinuità è calcolabile in termini di biodiversità, inquinamento, produzione di CO₂ equivalente, isole di calore, benessere percepito, qualità e permeabilità del suolo.

Ai fini della ricerca, si sono selezionate aree di sperimentazione e modellazione di scenari per riconnettere luoghi pubblici e spazi aperti sulla base dell'analisi di diversi dati, della lettura comparata di dati relativi alla fragilità climatica e sociale, della presenza di servizi di prossimità e di azioni/progetti di cittadinanza attiva. Tali dati sono stati sovrapposti per livelli tematici diversi, e i *layer* tradotti in mappe per facilitare la lettura integrata e individuare le aree maggiormente critiche e, al contempo, strategiche e potenziali.

Sono state individuate dieci aree nel centro storico di Bologna dove l'integrazione del verde deve rispettare i valori e i significati del contesto socioculturale e ambientale, posizionate idealmente lungo due assi immaginari, tra loro trasversali, e che attraversano la città consolidata da nord a sud e da est a ovest per garantire la continuità dei sistemi ecologici basati sulla nuova ipotesi di IV.

La metodologia, il cui approccio si distingue per il processo di mappatura, l'osservazione diretta integrata con la sovrapposizione cartografica di dati quantitativi, e l'analisi critica di quelli qualitativi, si basa sulla concettualizzazione e sperimentazione di una unità spaziale, denominata Unità Minima di Intervento (UMI), la cui innovazione risiede nell'integrazione delle componenti, nel potenziale di impatto alle diverse scale e nella capacità di integrarsi in maniera flessibile alle specificità del luogo.

through the Green Footprint project (Orioli, 2023) designed to develop and enhance a metropolitan-scale urban park system. However, penetrating the urban environment, Green Infrastructures merge with other systems of the built environment and mobility. This causes ruptures, fragmentations, and interruptions of their continuity, undermining their rationale and systemic operation. The impact of this discontinuity can be calculated in terms of biodiversity, pollution, CO₂ equivalent, microclimatic quality, and the quality of urban life, and must be mitigated by activating cross-cutting and synergistic interventions. The proposed methodology is based on the integration of GIS platforms with participatory mapping tools and analysis of satellite images to identify the areas most exposed to overheating phenomena and the most critical from a social

point of view. Mapping and data processing of the Urban Heat Islands and the inhabitants' perceptions allow to define a series of priority interventions identified together with the residents and stakeholders involved in the participatory process.

Ten areas have been identified in the historic centre of Bologna where the integration of greenery must respect the values and meanings of the socio-cultural and environmental context. The methodology, distinguished by its mapping process, direct observation integrated with the cartographic overlay of quantitative data, and critical analysis of qualitative data, is based on the conceptualisation and experimentation of a spatial unit called the Minimum Intervention Unit (MIU). Its innovation lies in the integration of components and potential impact at various scales, and in its ability to

Le Unità Minime di Intervento per il microclima e il comfort urbano

Una volta identificate le aree strategiche su cui operare, le soluzioni progettuali sono sviluppate ricorrendo alle Unità Minime di Intervento (UMI), definite come una unità spaziali, di dimensioni contenute per consentire, in ambito circoscritto, la valutazione dell'efficacia delle soluzioni progettuali proposte tramite software e l'integrazione tra di esse, e che fungono da tessuto connettivo fisico-architettonico, digitale (grazie all'implementazione di sensoristica connessa a piattaforme interoperabili) e democratico-partecipativo, replicabili in più aree e contesti differenti della città.

Lo sviluppo delle UMI si basa sulla messa a sistema dei seguenti ambiti:

- *Microclima e Comfort Outdoor*, a sua volta determinato dal contesto meteo-climatico, urbanistico, architettonico nonché delle caratteristiche dei materiali delle superfici degli spazi aperti.
- *Monitoraggio Site-Specific* dei dati climatici ricavati su dati multi-source (satellite, sensori in sito, telerilevamento, dati sul verde urbano privato e pubblico raccolto dai privati).
- *Incentivazione della Citizen Science* attraverso il coinvolgimento dei cittadini.

Nella loro replicabilità le UMI possono: a) costituire un elemento implementabile dei corridoi ecologici, migliorando la biodiversità e i servizi ecosistemici dell'intera rete di IV; b) evitare e ridurre la durata di situazioni locali di picco di temperatura grazie alle NBS in grado di fornire ai cittadini protezione e rifugio in caso di eventi meteorologici estremi; c) diventare unità rigenerative, in grado di adattarsi e sostenersi nel tempo, con-

flexibly integrate with the specificities of the site.

Minimum Intervention Units for microclimate and urban comfort

Once strategic areas for intervention have been identified, design solutions are developed using Minimum Intervention Units (MIUs), defined as small spatial units to allow for the evaluation of proposed solutions through software and their mutual integration. These units serve as physical-architectural, digital (thanks to the implementation of sensors connected to interoperable platforms), and democratic-participatory connective tissue, replicable in multiple areas and different contexts of the city.

The development of MIUs is based on systematising the following areas:

- Microclimate and Outdoor Comfort, which in turn are determined

by the meteorological-climatic, urban, architectural context, as well as the characteristics of the materials of the surfaces of open spaces.

- Site-Specific Monitoring of climatic data obtained from multi-source data (satellite, on-site sensors, remote sensing, data on private and public urban greenery collected by private entities).
- Encouragement of Citizen Science through citizen involvement. MIUs allow to test and evaluate, within a defined scope, the effectiveness of proposed design solutions.

In their replicability, MIUs can: a) constitute an implementable element of ecological corridors, improving the biodiversity and ecosystem services of the entire green infrastructure network; b) avoid and reduce the duration of local temperature peak situations thanks to Nature-Based Solutions

trastando il fenomeno dell'UHI e UHW, e innescando processi di "contaminazione" delle aree limitrofe; d) diventare elementi estetici e qualificanti la città: superando l'approccio obsoleto del solo verde ornamentale nelle città, le unità saranno progettate in modo da conciliare la resilienza climatica con valori estetici, producendo luoghi urbani in linea con gli indirizzi forniti dal *New European Bauhaus*.

Più nello specifico, la metodologia prevede la suddivisione di varie sezioni urbane in tessere di dimensioni pari a 500m x 500m, per le quali viene valutato il microclima attuale e simulato il possibile impatto di diverse strategie di intervento mediante le NBS, in modo coerente con il contesto specifico e al fine di integrare i diversi sottosistemi o infrastrutture preesistenti.

Le UMI sono definite per tipologie di spazi aperti: (a) cortili pubblici e privati, (b) parchi urbani, (c) strade, (d) parcheggi, (e) piazze, (f) spazi residuali, oppure come combinazione di più spazi aperti.

Nel contesto dello studio condotto a Bologna sul centro storico, le aree individuate includono la Bolognina, delimitata da via G. Matteotti e via J. della Quercia; l'Area Stazione, su piazza XX Settembre; la zona di piazza 8 Agosto e Montagnola, caratterizzata da una piazza urbanizzata e un parco cittadino; l'Area San Pietro, su via dell'Indipendenza, via Altabella e la chiesa di San Pietro, con cortili privati alberati e pavimentati; Piazza Re Enzo, con una piazza aperta e una strada carrabile; la zona della chiesa di San Domenico, che include strade, parcheggi, e cortili pubblici e privati; piazza dei Martiri, con un intricato sistema di strade e viabilità; l'Area delle Due Torri, interessata da lavori e ridisegno urbano; Porta Mascarella, individuata lungo via del Borgo di S. Pietro; infine, l'incrocio tra via Irnerio e via Masca-

(NBS) capable of providing citizens with protection and refuge in the event of extreme weather events; c) become regenerative units, capable of adapting and sustaining themselves over time, counteracting the phenomena of Urban Heat Island (UHI) and Urban Heat Waves (UHW), and triggering processes of "contamination" of neighbouring areas; d) become aesthetic elements enhancing the city. Indeed, surpassing the outdated approach of mere ornamental greenery in cities, the units will be designed to reconcile climate resilience with aesthetic values, producing spaces in line with the guidelines provided by the New European Bauhaus.

Specifically, the methodology involves tiling certain parts of the city, with dimensions of 500m x 500m, for each of which the current microclimate is evaluated and the one following dif-

ferent intervention hypotheses with NBS is simulated, coherently with the specific context and with the objective of integrating the different subsystems or existing infrastructures. MIUs are defined for types of open spaces: (a) public and private courtyards, (b) urban parks, (c) streets, (d) parking lots, (e) squares, (f) residual spaces, or as a combination of multiple open spaces.

In the context of the study conducted in Bologna on the historic city centre, ten specific areas of interest have been identified. These include Bolognina, confined by via G. Matteotti and via J. della Quercia; the Stazione area, around Piazza XX Settembre; the area of Piazza 8 Agosto and Montagnola, characterised by an urbanised square and a city park; the San Pietro area, along via dell'Indipendenza, via Altabella, and the Church of San Pietro, with tree-lined and paved pri-

rella. Ciascuna area è stata modellata nella sua configurazione esistente e simulata, attraverso il software Envimet v.5.6.1, per ottenere le mappature microclimatiche (*Outdoor Microclimate Map – OMM*) delle variabili microclimatiche locali di una giornata estiva rappresentativa. Come giorno di simulazione, si è scelto il 27 luglio 2021, e sono state condotte 24 ore di simulazione a partire dalle ore 6 a.m. Le mappe prodotte riguardano la temperatura dell'aria, la temperatura superficiale e la *Physiological Equivalent Temperature* (PET), indicatore in grado di restituire lo stress termico delle persone, su base oraria.

La seconda fase della ricerca consiste nell'applicazione, simulazione e modellazione con software di alcune tipologie di NBS standardizzate e poi adattate alle singole aree: *Bioswale* (canali di ruscellamento), filari alberati, orti di comunità, sistemi di pavimentazione permeabile, alberi da frutto urbani, barriere acustiche naturali, *Island of coolness* (isole di frescura).

Infine, per alcune aree significative, si prevede la simulazione di un'ipotetica soluzione progettuale specifica e risultato delle riflessioni della modellazione precedente con l'applicazione di una o più NBS tra loro integrate e relazionate con le altre infrastrutture. In questo modo, grazie al confronto delle *Outdoor Microclimate Maps* dello stato di fatto e di progetto, è possibile misurare l'efficacia dell'applicazione delle NBS per quanto riguarda le temperature dell'aria a livello del suolo e sul comfort urbano dei diversi soggetti. In figura 1 e 2 si propongono le outdoor microclimate map estrapolate alle ore 11:00 a.m., in quanto rappresentative dell'orario con la maggiore presenza di persone. (Figg. 1, 2).

Pertanto, valutato per ogni tipologia di UMI l'efficacia nell'applicazione delle NBS, è possibile replicare la soluzione proget-

vate courtyards; Piazza Re Enzo, with an open square and a drivable street; the area around the Church of San Domenico, which includes streets, parking lots, and public and private courtyards; Piazza dei Martiri, with a complex system of streets and roads; the Area of the Two Towers, affected by construction and urban redesign; Porta Mascarella, located along Via del Borgo di S. Pietro; and, finally, the intersection of Via Irnerio and Via Mascarella. Each area has been modelled in its existing configuration and simulated through specific software to obtain microclimatic mappings (*Outdoor Microclimate Map*) of local microclimatic variables on a representative summer day. The produced maps concern air temperature, surface temperature, and the Physiological Equivalent Temperature (PET), an indicator capable of reflecting people's

thermal stress, on an hourly basis. The second phase of the research involves the application, simulation, and modelling with software of some standardised types of NBS, which are then adapted to individual areas: Bioswales, tree rows, community gardens, permeable pavement systems, urban fruit trees, natural sound barriers, Islands of coolness. Finally, for some significant areas, the simulation of a hypothetical specific design solution is envisaged, resulting from the reflections of the previous modelling with the application of one or more NBS integrated with each other and integrated with other infrastructures. Hence, by comparing *Outdoor Microclimate Maps* of the current and project states, it is possible to measure the effectiveness of the application of NBS regarding ground-level air temperatures and urban comfort for different stakeholders (Figs. 1,

tuale innestandole in aree tipologicamente simili nell'ambito delle IV, lavorando poi sui punti di tangenza tra UMI differenti. *Le Unità Minime di Intervento per le Infrastrutture Verdi*

La metodologia supporta l'integrazione delle UMI nel sistema delle Infrastrutture Verdi, contribuendo a ricucire le discontinuità dell'ecosistema urbano. Questo può avvenire raggruppando unità dello stesso tipo o unità con caratteristiche diverse, che consentono di immaginare scenari alternativi e valutarne gli impatti prima dell'attuazione in un sistema di connessione tra i nodi della rete. La metodologia include l'utilizzo di dati eterogenei, l'identificazione dei dati mancanti, la simulazione dell'inserimento delle UMI nel tessuto urbano, il monitoraggio dei risultati e gli aggiustamenti per il loro riuso. Basata sull'analisi dei dati specifici del contesto, la metodologia mira a testare la trasferibilità e replicabilità delle soluzioni proposte (Fig. 3).

Risultati attesi della ricerca e discussione

Il primo elemento di innovazione metodologica riguarda la selezione stessa delle aree pilota di intervento. Queste, infatti, sono state identificate grazie alla sovrapposizione di una serie di dati geografici quantitativi e qualitativi appartenenti a diversi livelli tematici, tra cui la rappresentazione delle proposte dei cittadini all'interno del processo di Bilancio Partecipativo di Bologna. Si tratta pertanto di aree ad alta densità di opportunità, in cui le comunità di luogo (Manzini, 2021) sono chiamate ad affrontare nuove sfide e fenomeni che richiedono una forte integrazione con gli ecosistemi urbani e naturali.

Per rispondere all'obiettivo di miglioramento del benessere microclimatico, dell'accessibilità, della qualità estetica degli am-

2). Hence, evaluated for each type of MIU, effective application of NBS allows to replicate the design solution by grafting it into typologically similar areas within the green infrastructure, then working on the tangency points between different MIUs.

Minimum Intervention Units for Green Infrastructure

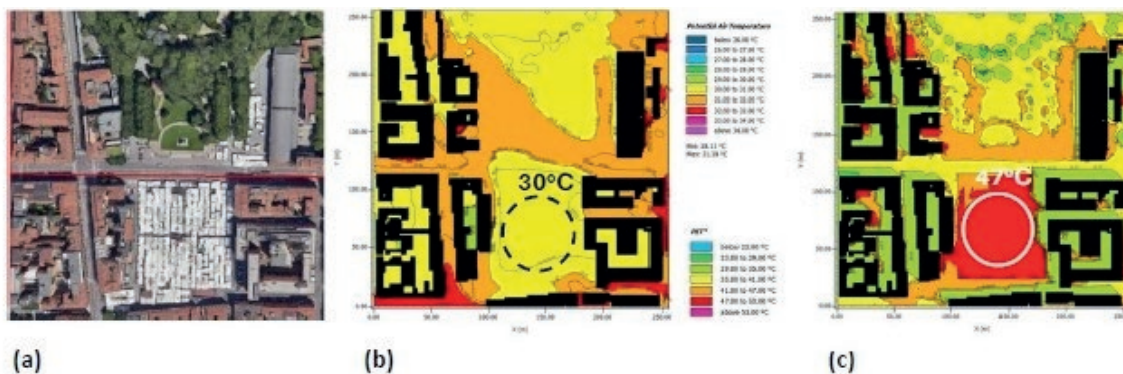
The methodology supports the integration of Minimum Intervention Units (MIUs) into the green infrastructure (GI) system, contributing to stitching together the discontinuities of the urban ecosystem. The integration of MIUs allows to envision alternative scenarios and assess their impacts before implementation. The research focuses on the integration and transmission of MIUs within the GI of the city of Bologna, identifying integrated districts to ensure connection between network nodes.

The methodology includes the use of heterogeneous data, identification of missing data, simulation of MIU integration into the urban fabric, monitoring of results, and adjustments for their reuse. Based on the analysis of specific context data, the methodology aims to test the transferability and replicability of the proposed solutions (Fig. 3).

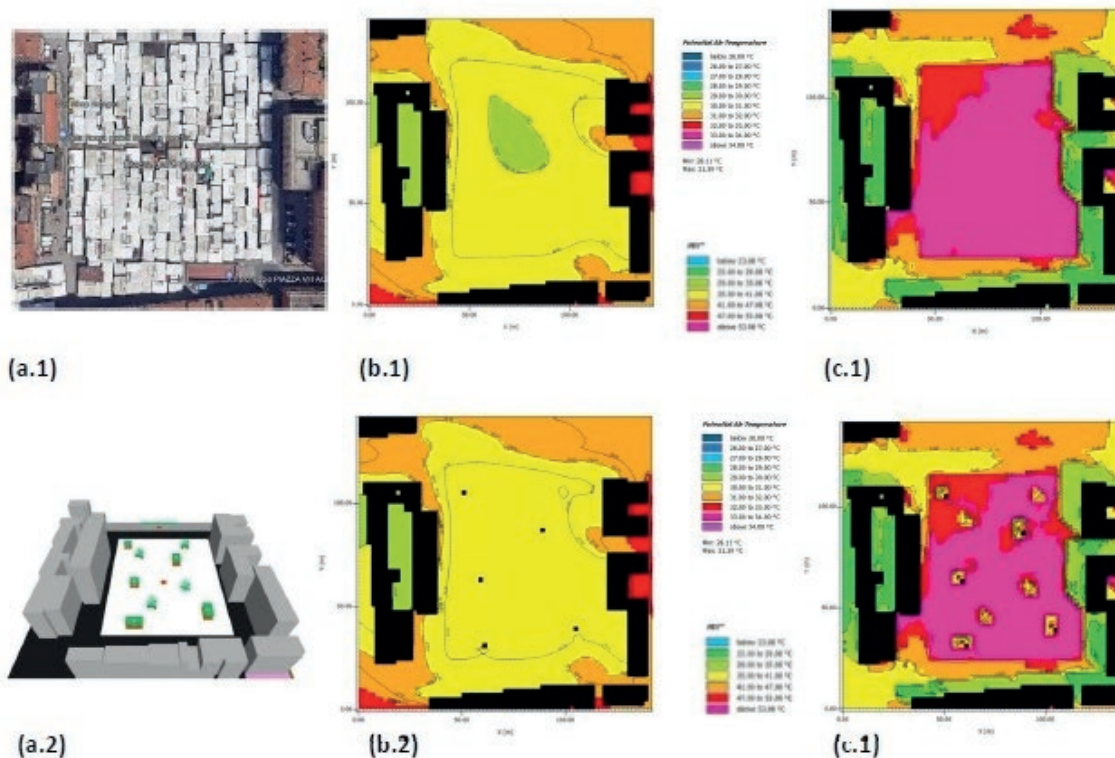
Expected Research Results and Discussion

The first element of methodological innovation concerns the selection of pilot intervention areas. These areas have been identified through the overlay of a series of quantitative and qualitative geographic data belonging to different thematic levels, including the representation of citizens' proposals within the Participatory Budgeting process of Bologna. Therefore, these are areas with a high density of opportunities,

01 |

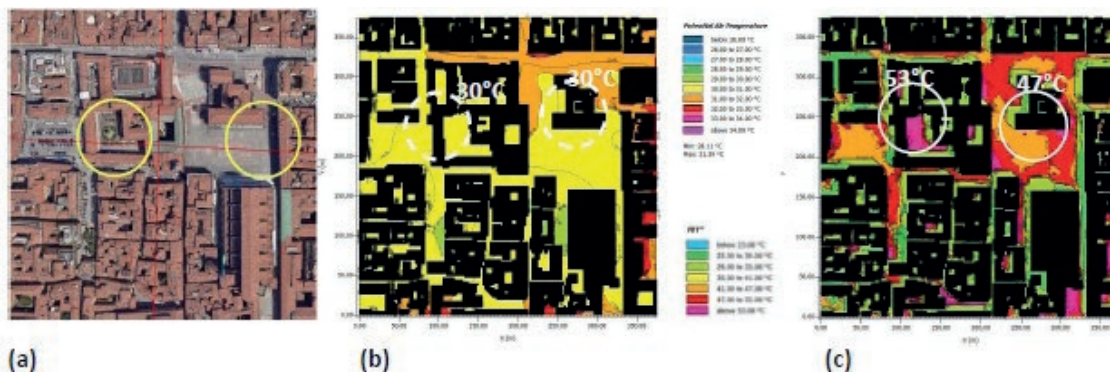


Area P.zza VIII Agosto Parco Montagnola Simulazione dello stato di fatto dell'intera area e degli output temperatura dell'aria e PET (°C). (a) veduta dell'area (b) OMM della temperatura dell'aria (c) OMM della PET ore 11:00 (uomo adulto 1 met 0,5 clo)

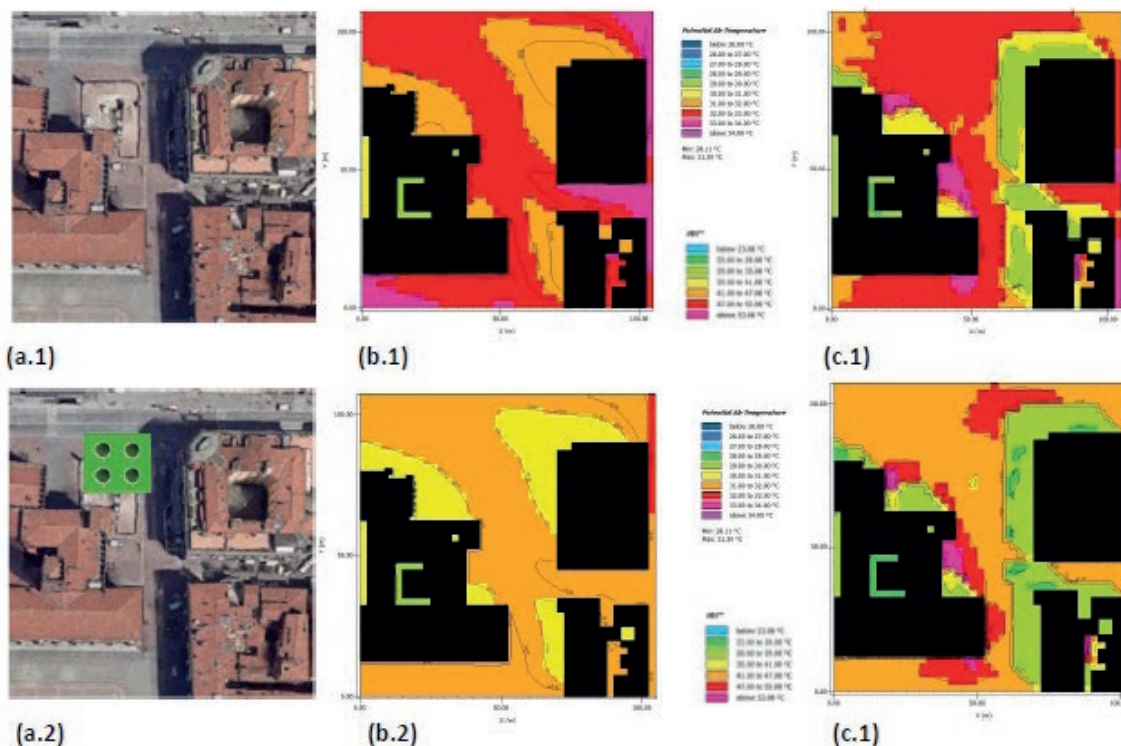


Dettaglio P.zza VIII Agosto.

SOPRA - simulazione stato di fatto dell'area (a.1) e OMM Temp.aria (b.1) e OMM PET (c.2).
 SOTTO - simulazione con ipotesi NBS dell'area (a.2) e OMM Temp.aria (b.2) e OMM PET (c.2).
 Dal confronto tra le immagini sopra e sotto si può notare una riduzione della temperatura e, per quello che riguarda la PET si nota il salto di una scala di PET: da rosso (molto molto caldo PET > 47°C) ad arancione (molto caldo PET > 41°C)



Area Piazza Maggiore, via Rizzoli e Palazzo d'Accursio. Simulazione dello stato di fatto dell'intera area e degli output temperatura dell'aria e PET (°C). (a) veduta dell'area (b) OMM della temperatura dell'aria (c) OMM della PET ore 11:00 (uomo adulto 1 met 0,5 clo)



Dettaglio via Rizzoli ingresso Modernissimo.

SOPRA - simulazione stato di fatto dell'area (a.1) e OMM Temp.aria (b.1) e OMM PET (c.2).

SOTTO - simulazione con ipotesi NBS dell'area (a.2) e OMM Temp.aria (b.2) e OMM PET (c.2).

Dal confronto tra le immagini sopra e sotto si può notare una riduzione della temperatura e, per quello che riguarda la PET si nota il salto di una scala di PET: da rosso (molto molto caldo PET > 47°C) ad arancione (molto caldo PET > 41°C)

bienti urbani consolidati, le UMI emergono come un approccio innovativo e integrato. Queste unità spaziali, definite dalle loro caratteristiche fisiche, digitali e partecipative, rappresentano un punto di svolta nell'affrontare le sfide imposte dai cambiamenti climatici nelle città contemporanee. Le UMI applicate alle aree di intervento, singolarmente o in sinergia con altre, si innestano nel tessuto urbano esistente pubblico, contribuendo alla sua bellezza architettonica, sostenibilità e vivibilità, e restituendolo alla sua valenza di bene comune.

Le UMI non sono semplicemente entità fisiche, ma comprendono anche una componente digitale. Attraverso l'installazione di sensori collegati a piattaforme interoperabili, esse consentono di raccogliere e monitorare dati climatici provenienti da diverse fonti, tra cui satelliti, sensori sul campo, telerilevamento e informazioni sul verde urbano. Questo approccio permette di valutare le condizioni ambientali e il comfort urbano in specifiche aree (*site-specific*), identificando così eventuali criticità e facilitando la progettazione di interventi mirati. Inoltre, l'integrazione di dati provenienti da diverse fonti consente una visione completa delle condizioni climatiche.

Le UMI favoriscono anche la partecipazione della cittadinanza attraverso l'approccio *Citizen Science*, coinvolgendo attivamente i residenti nel processo decisionale e nel monitoraggio dell'ambiente urbano. Allo stadio attuale della ricerca, si sono prese in considerazione le istanze, i desiderata e gli input progettuali già emersi in precedenti esperienze di consultazione e partecipazione della cittadinanza. L'obiettivo è un coinvolgimento che non solo consenta di raccogliere dati di alta qualità a livello locale, ma trasformi anche i cittadini in veri e propri collaboratori nella progettazione, nell'attuazione di soluzioni e

where local communities (Manzini, 2021) are called upon to face new challenges and phenomena that require strong integration with urban and natural ecosystems.

To meet the objective of improving microclimatic well-being, accessibility, and aesthetic quality of consolidated urban environments, MIUs emerge as an innovative and integrated approach. These spatial units, defined by their physical, digital, and participatory characteristics, represent a turning point in addressing the challenges posed by climate change in contemporary cities. MIUs applied to intervention areas, individually or in synergy with others, integrate into the existing public urban fabric, contributing to its architectural beauty, sustainability, liveability, and restoring it to its common good value.

MIUs are not only physical entities

but also embody a digital dimension. Through the implementation of sensors connected to interoperable platforms, MIUs enable monitoring and collection of multi-source climatic data, including information from satellites, on-site sensors, remote sensing, and urban greenery data. This approach allows the site-specific assessment of environmental conditions and urban comfort, enabling the identification of critical areas and the design of targeted interventions. Moreover, by involving data from various sources, MIUs promote an integrated and comprehensive view of climatic conditions. MIUs also lend themselves to fostering Citizen Science by actively involving citizens in decision-making processes and urban environment monitoring, which also allows to collect high quality data at the local level. Citizens thus become true partners in the design

nella successiva gestione e cura degli spazi o servizi creati.

Le unità estendono il concetto di rifugio climatico anche agli spazi aperti vegetati, come parchi e giardini alberati, offrendo protezione durante eventi meteorologici estremi come le ondate di calore. Grazie all'ombra degli alberi, superfici permeabili e acqua disponibile, questi spazi possono diventare luoghi sicuri e confortevoli durante condizioni meteorologiche avverse. Invece di essere semplici luoghi chiusi di rifugio passivo, i rifugi climatici aperti rappresentano parti attive di una rete più ampia di intervento urbano, connesse tra loro e con altre risorse e servizi. Questo li rende non solo luoghi sicuri in caso di emergenza climatica, ma anche centri dinamici in grado di fornire soluzioni innovative e risposte adattive alle sfide ambientali e sociali. Infine, tali rifugi climatici dovrebbero essere progettati e gestiti in modo da rispondere alle esigenze di tutti i membri della comunità, compreso chi potrebbe trovarsi in situazioni di svantaggio o vulnerabilità durante eventi climatici estremi.

Conclusioni

Il metodo di ricerca delineato presenta una serie di spunti e ambiti di approfondimento importanti che possono essere utili per informare futuri interventi di progettazione urbana e sviluppo sostenibile, soprattutto in relazione alle opere promosse dall'amministrazione pubblica, la quale, tra le varie forme di committenza, è quella che deve essere maggiormente attenta agli impatti degli interventi sugli *habitat* urbani e le comunità eco-sociali.

Una prima riflessione compete la dimensione spaziale dell'intervento proposto. Le capacità di integrazione di soluzioni progettuali basate sulla natura, scalabili, modulari e ripetibili,

and implementation of adaptation solutions and ecosystem services.

Minimum Intervention Units (MIUs) extend the concept of climatic refuge to vegetated open spaces, such as parks and tree-lined gardens, offering protection during extreme weather events such as heatwaves. Thanks to tree shade, permeable surfaces, and available water, these spaces can become safe and comfortable places during adverse weather conditions. Instead of being a passive haven, simple enclosed places, open climatic havens are active parts of a broader network of urban intervention, interconnected with each other and with other resources and services. This makes them not only safe places in case of climate emergency but also dynamic centres capable of providing innovative solutions and adaptive responses to environmental and social challenges. Finally, such climatic ha-

vens should be designed and managed to meet the needs of all community members, including those who may find themselves in disadvantageous or vulnerable situations during extreme weather events.

Conclusions

The research method described presents a series of important lessons that can be useful for informing future urban design interventions and sustainable development, especially in relation to projects promoted by the public administration, which, among the various forms of commissioning, must be more attentive to the impact of interventions on urban habitats and eco-social communities.

A first reflection concerns the spatial dimension of the proposed intervention. The integration capabilities of nature-based scalable, modular, and



repeatable design solutions promote cohesion among different urban spaces, contributing to create a continuous green infrastructure with the long-term objective of improving the city's biodiversity and ecosystem services. The design solutions are adaptable over time, allowing for incremental and adaptive planning of interventions. This approach enables resilient management of future changes and adjustments based on the experiment's results. It is essential to conduct a thorough analysis of urban context data to assess the impact of proposals in advance, testing the transferability of solutions and making necessary adjustments. Furthermore, dedicated consideration is given to the social aspect of research. Active citizen participation through Citizen Science promotes democratic involvement in the design and implementation of so-

lutions. This approach helps create a sense of belonging and responsibility in the community, improving social cohesion and urban quality of life. Finally, the proposed approach is capable of providing support to policymakers in planning and programming interventions that are no longer ad hoc and emergency-based but are able to prepare the city – even the consolidated one – to face future environmental challenges. With this spirit, urban greening is not limited to creating parks and gardens within cities but becomes a process to identify citizens' aspirations, define quality objectives, and consequent strategic actions. Looking to the future, integrating this model into a Digital Twin of the urban green system and open spaces could enable more effective and dynamic management of interventions, allowing for detailed simulation and real-time assess-

ment of the impact of urban planning decisions on the city and its natural environment, thereby facilitating collaborative and place-making-oriented governance.

ACKNOWLEDGMENTS

The projects CHANGES_ Cultural Heritage Active Innovation for next-gen sustainable society (Project PE 0000020 CHANGES, CUP B53C22003780006, PNRR Mission 4 Component 2 Investment 1.3) and ECOSISTER _ Ecosystem for sustainable transition in Emilia-Romagna (ECS_00000033, CUP B33D21019790006, PNRR Mission 4, Component 2, Investment 1.5) have received funding from the NextGeneration EU program.

NOTES

¹ Available at: https://www.comune.bologna.it/myportal/C_A944/api/content/download?id=632adc5472e6b400994ee4cc

² Available at: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf

³ Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976>

favoriscono la coesione tra diversi spazi urbani, contribuendo a creare una IV continua che ha l'obiettivo nel lungo termine di migliorare la biodiversità e i servizi ecosistemici della città.

Le soluzioni progettuali sono adattabili nel tempo, consentendo una pianificazione incrementale e adattiva degli interventi. Questo approccio permette di gestire in modo resiliente le modifiche future e di apportare aggiustamenti basati sui risultati degli esperimenti. È fondamentale condurre un'analisi approfondita dei dati del contesto urbano per valutare gli impatti delle proposte in anticipo, testando la trasferibilità delle soluzioni e apportando aggiustamenti necessari. Inoltre, una considerazione dedicata è rivolta all'aspetto sociale della ricerca. La partecipazione attiva dei cittadini attraverso la *Citizen science* favorisce il coinvolgimento democratico nella progettazione e nell'attuazione delle soluzioni. Questo approccio contribuisce a creare un senso di appartenenza e responsabilità nella comunità, puntando a una maggiore coesione sociale e migliorando la qualità della vita urbana.

Infine, l'approccio proposto si dimostra capace di fornire un supporto ai *policy-makers* nella pianificazione e programmazione di interventi non più estemporanei ed emergenziali ma in grado di preparare la città – anche in contesti complessi e consolidati – ad affrontare le sfide ambientali future. Con questo spirito, il *greening* urbano non si limita alla creazione di parchi e giardini all'interno delle città, ma diventa un processo per individuare le aspirazioni della cittadinanza, definire obiettivi di qualità e conseguenti azioni strategiche. Guardando al futuro, l'integrazione di questo modello in un ipotetico *Digital Twin* del sistema del verde urbano e degli spazi aperti potrebbe consentire una gestione più efficace e dinamica degli interventi, permettendo una simulazione dettagliata e una valutazione in tempo reale degli impatti delle decisioni urbanistiche sulla città e sul suo ambiente naturale, facilitando così una governance collaborativa e orientata al *placemaking*.

NOTE

¹ Available at: https://www.comune.bologna.it/myportal/C_A944/api/content/download?id=632adc5472e6b400994ee4cc

² Available at: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf

³ Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976>

RINGRAZIAMENTI

I progetti CHANGES_ Cultural Heritage Active Innovation for next-gen sustainable society (Progetto PE 0000020 CHANGES, – CUP B53C22003780006, PNRR Missione 4 Componente 2 Investimento 1.3) ed ECOSISTER_ Ecosystem for sustainable transition in Emilia-Romagna (ECS_00000033, CUP B33D21019790006, PNRR Missione 4, Componente 2, Investimento 1.5) hanno ricevuto il finanziamento dal programma NextGeneration EU.

REFERENCES

Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J., Elmqvist, T., Folke, C., & Gren, Å. (2014). "Reconnecting cities to the biosphere: stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services." *Ambio*, Vol. 43, pp. 445-453. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y>.

Cascone, S. (2023). *Le infrastrutture verdi per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici*. EDIFIR, Firenze.

Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J. M. N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., ... & Le Roux, X. (2015).

"Nature-based solutions: new influence for environmental management and research in Europe." *GAIA Ecological perspectives for science and society*, Vol. 24, n.4, pp. 243-248. Available at: <https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9>.

European Commission (2024), *Green infrastructure*. Available at: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en (Accessed on 26-01-2024).

Haase, D. (2021). "Integrating Ecosystem Services, Green Infrastructure and Nature-Based Solutions-New Perspectives in Sustainable Urban Land Management: Combining Knowledge About Urban Nature for Action." in *Sustainable Land Management in a European Context: A Co-design Approach*, pp. 305-318. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50841-8_16.

Manzini, E. (2021), *Abitare la prossimità. Idee per la città dei 15 minuti*, Egea, Milano.

Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). "Green infrastructure and health." *Annual Review of Public Health*, Vol. 42, pp. 317-328. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-090419-102511>.

Orioli, V. (2023). "Dal Piano al progetto dello spazio pubblico: l'Impronta Verde e la Città 30." *Eco Web Town*, Vol.27, n. 2039, p. 21.

Sabbion, P., and Tucci, G. (2017). "City Greening, strategie per il paesaggio urbano tra estetica e salubrità." *Ri-Vista. Research for landscape architecture*, Vol. 15, n.1, pp. 32-45.

Scott, M.; Lennon, M.; Haase, D.; Kazmierczak, A.; Clabby, G.; Beatley, T. (2016) "Nature-Based Solutions for the Contemporary City/Re-Naturing the City/Reflections on Urban Landscapes, Ecosystems Services and Nature-Based Solutions in Cities/Multifunctional Green Infrastructure and Climate Change Adaptation: Brownfield Greening as an Adaptation Strategy for Vulnerable Communities?/Delivering Green Infrastructure through Planning: Insights from Practice in Fingal, Ireland/Planning for Biophilic Cities: From Theory to Practice." *Planning Theory & Practice*, Vol. 17, pp. 267-300. Available at: <https://doi.org/10.1080/14649357.2016.1158907>.

United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme UNEP/EA.5/Res.5 (2022), *Information on reports and updates by the Technology and Economic Assessment Panel*. Available at: <https://www.unep.org/> (Accessed on 26-01-2024).

Wilhelm, K., Pam, B., Nicolas, B., Cecchi, C., Thomas, E., Marta, F. et al., (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*. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202> (Accessed on 26-01-2024).