

Circolarità delle risorse, energia solare e bioclimatica per l'edificio storico *Climate Neutral*

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

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Serena Baiani, <https://orcid.org/0000-0002-1975-3251>

Paola Altamura, <https://orcid.org/0000-0001-7317-1036>

Giada Romano, <https://orcid.org/0000-0003-0344-8153>

Dipartimento di Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura, "Sapienza" Università di Roma, Italia

serena.baiani@uniroma1.it

paola.altamura@uniroma1.it

giada.romano@uniroma1.it

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 comporta-

mento 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 mediterranea¹. 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 Europe¹. 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-

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 pos-

sibilità 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 imple-

mentation 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 termoi-grometrico, perseguendo così 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 CO₂ 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 ef-

ficiency 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 CO₂ 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 riferimento². 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 Ca-

strense, 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 CO₂ 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 CO₂ 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 morphotypological 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. CO₂ 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 benchmarks². 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

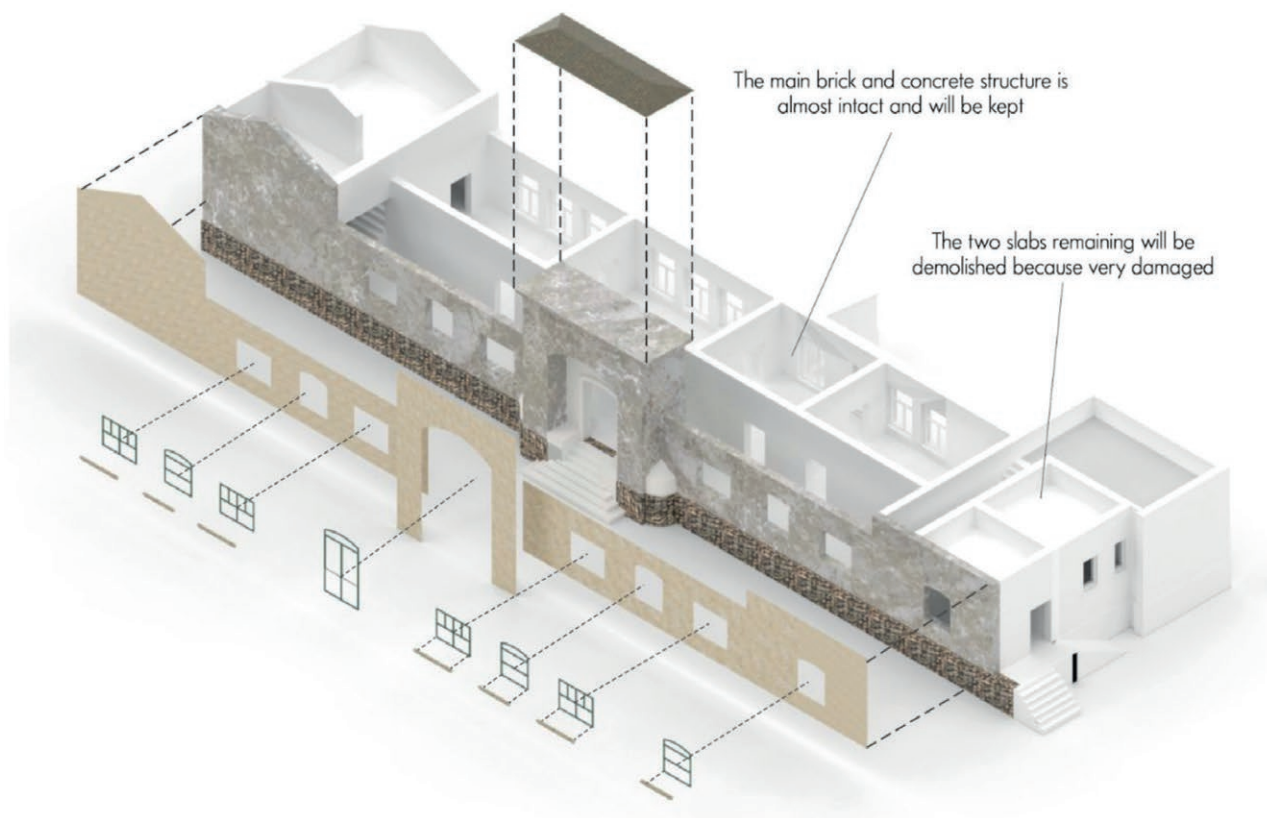
Context and analysis of material and climatic aspects

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 | MAIN FACADE OF THE EX FILANDA



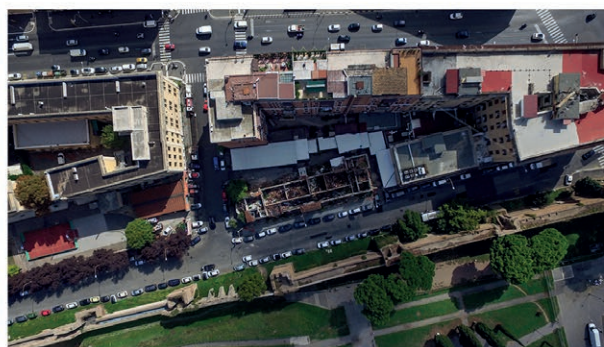
AXONOMETRIC VIEW OF THE CURRENT STATUS OF THE BUILDING



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 CO₂ evitate con la sostituzione delle fonti fossili con rinnovabili ammontano a 11.871,60 kg di CO₂/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 af-

fectected 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.

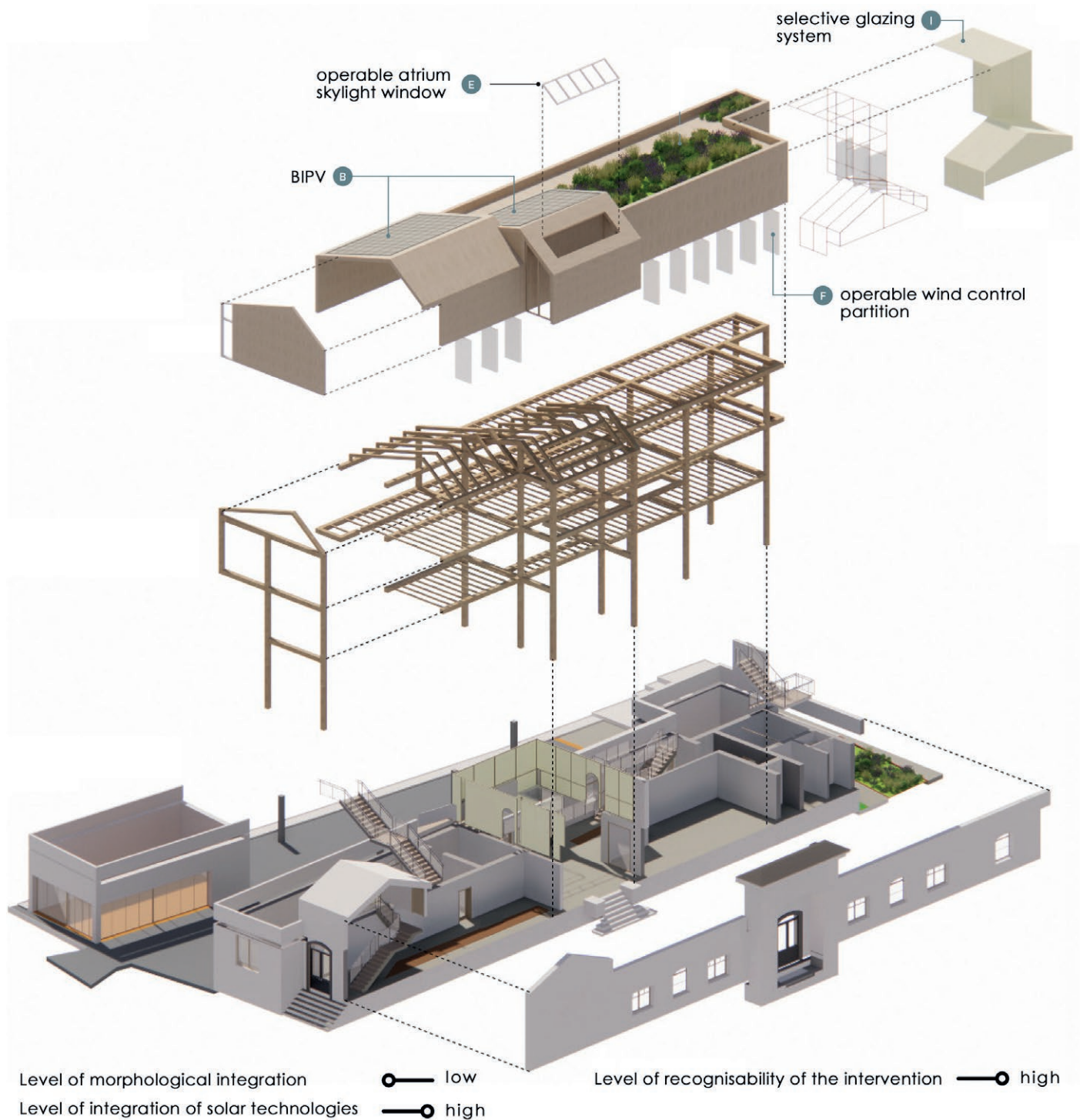
The optimisation of energy performance, combined with the integration of both passive and active solutions tailored to each scenario and approach, stems from the type of solar installation, favouring BIPV (Building Integrated Photovoltaic) in roofs or façades. Innovative photovoltaic systems are experimented 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 CO₂ emissions avoided by replacing fossil

fuels with renewable energy sources amount to 11,871.60 kg of CO₂/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-

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 CO₂ evitate ammontano a 13.902,70 kg di CO₂/anno.

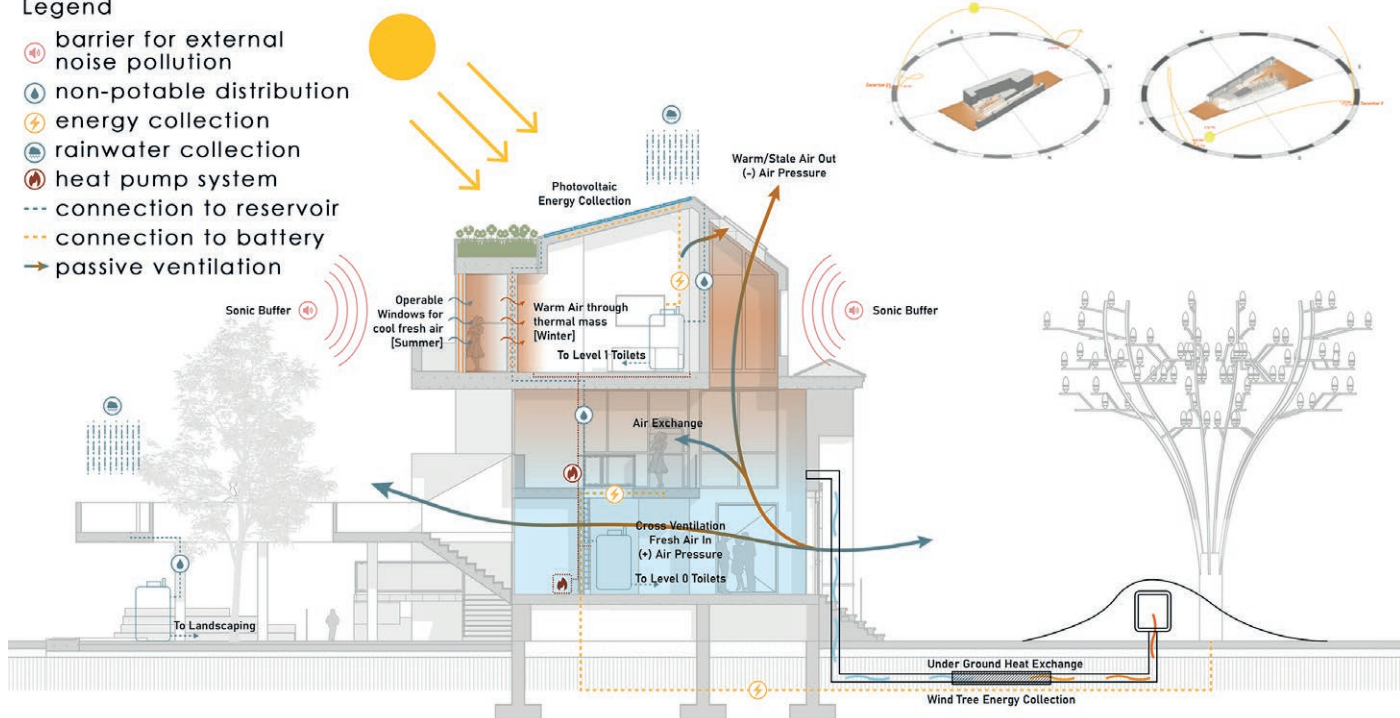
Lo scenario 3 (Fig. 5) propone nuove volumetrie, mantenendo la struttura dell'edificio, aggiunte in copertura, che replicano quella originaria integrando però un secondo livello anche nella zona centrale, tra le due ali. L'alto livello di integrazione morfologica e il corrispondente medio livello di 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 CO₂ evitate ammontano a 22.814,79 kg di CO₂/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-

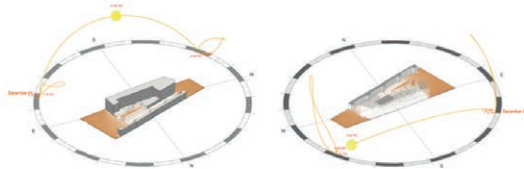
ENVIRONMENTAL SECTION

Legend

- ⊗ barrier for external noise pollution
- ⦿ non-potable distribution
- ⚡ energy collection
- ☔ rainwater collection
- 🔥 heat pump system
- connection to reservoir
- connection to battery
- ➔ passive ventilation



two level solar analysis simulation - winter season | 03



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

Axonomic 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 CO₂ evitate ammontano a 13.375,52 kg di CO₂/anno.

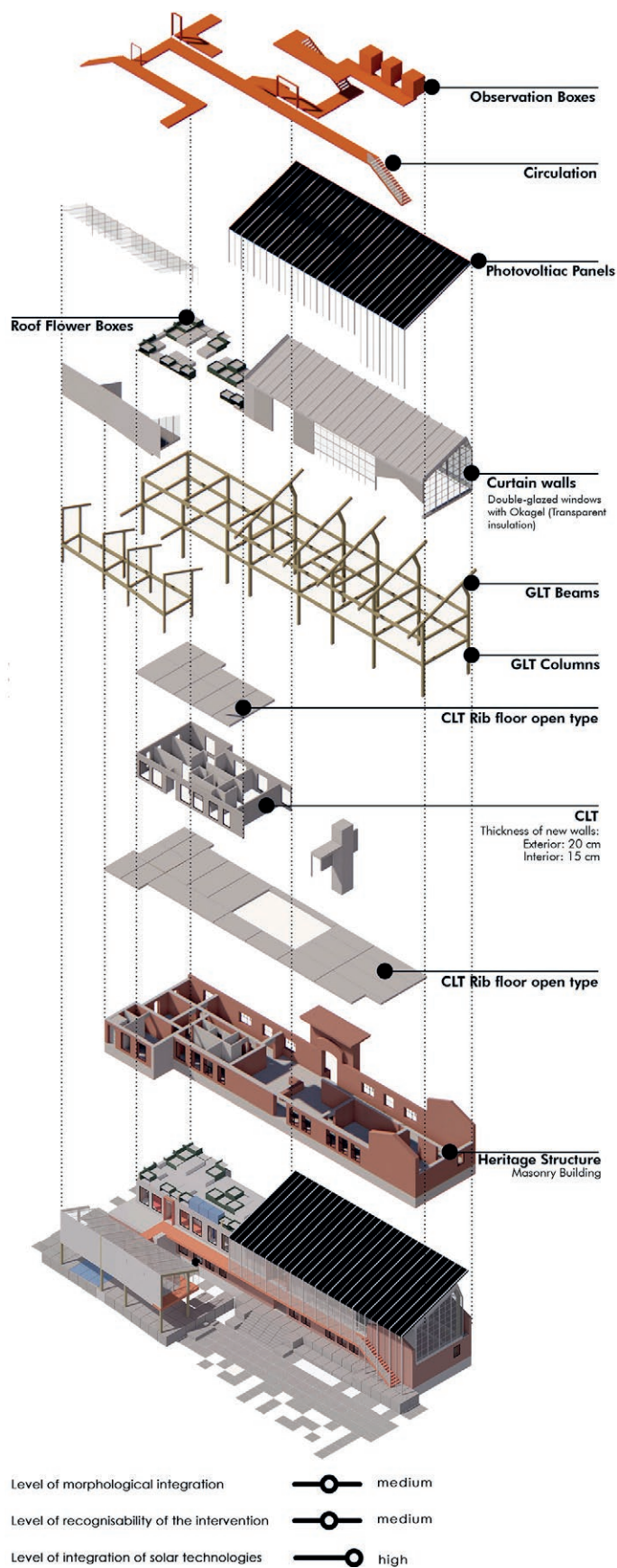
Lo scenario 5 (Fig. 7) infine aggiunge nuove volumetrie internamente alle murature del primo livello, combinando nuove superfici in facciata che modificano la configurazione originaria. Il basso livello di integrazione morfologica si combina ad un alto livello di riconoscibilità dell'intervento per la 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 CO₂ risparmiate ammontano a 9.698,34 kg di CO₂/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 electric-

ity to the park areas and surrounding buildings. The CO₂ emissions avoided amount to 13,902.70 kg of CO₂/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

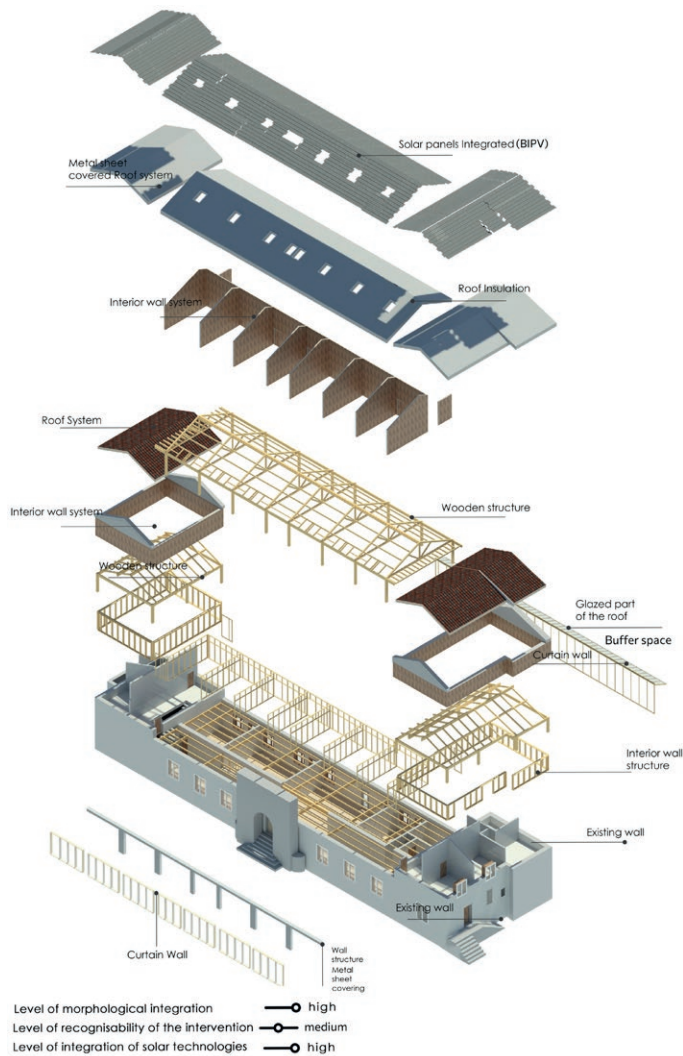


buffer zone ensures natural ventilation throughout the year. From the systems

perspective, next-generation ceramic photovoltaic tiles are integrated into

- 05 | Esploso assometrico 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 assometrico 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

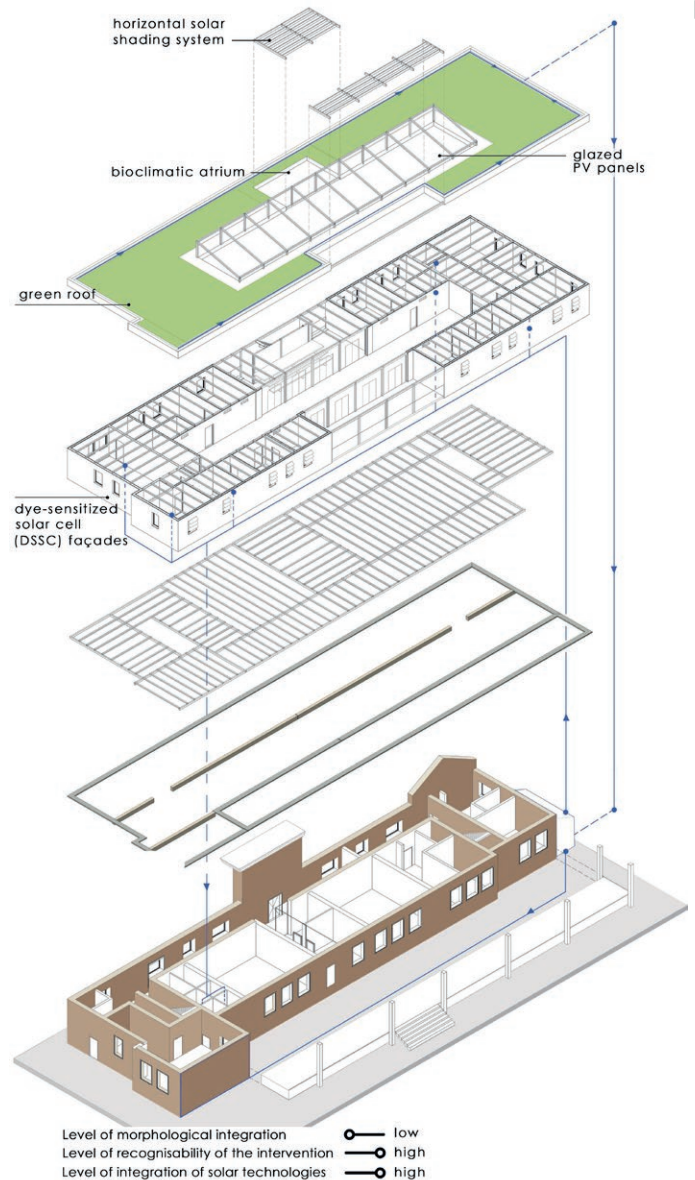
05 |



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 CO₂ emissions avoided amount to 22,814.79 kg of CO₂/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 ef-

fect 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 technolo-

| 06



gies produces 52,004.36 kWh/year, covering 62% of the building's total consumption of 83,878.00 kWh/year. Total CO₂ emissions saved are 13,375.52 kg of CO₂/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 assometrico 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

Axonomic 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 CO₂, 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 CO₂ 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 CO₂, 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 CO₂ emissions saved amount to 9,698.34 kg of CO₂/year.

Discussion of the results

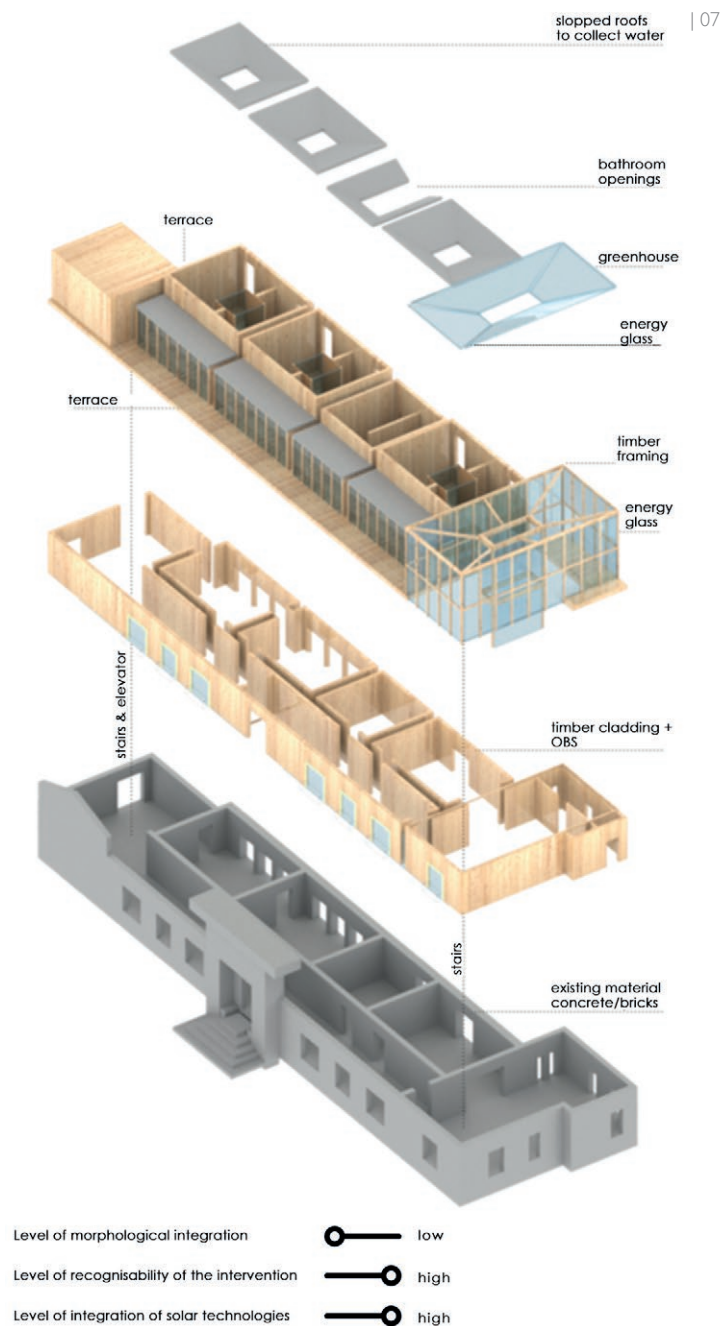
Each of the five intervention scenarios for the redevelopment of the Ex Filanda show a specific approach to improve energy efficiency and environmental performance, achieving different levels with respect to morphological integration, solar technology integration and recognisability, as shown in figures 2-7. The scenarios were also evaluated and compared based on energy performance and CO₂ savings, in a climate-neutral perspective (Fig. 8) through the following indicators: overall energy consumption; amount of energy produced from renewable energy sources; and calcu-

lation of CO₂ 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 CO₂ 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



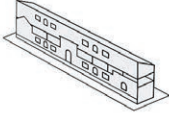
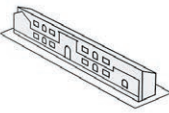
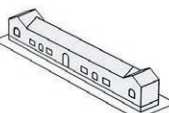
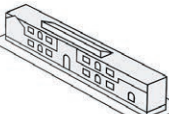
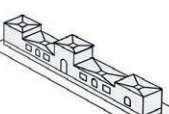
advancement of knowledge and strong technological innovation –, and environmental, in relation to the opportunity of upgrading historic buildings to Nearly Zero Energy Historic Buildings (nZEHB), with the goal of Carbon Neutrality. Research beneficiaries, from architects to policy makers, can benefit from new knowledge, technologies and approaches for the climate neutrality of historic buildings in urban contexts.

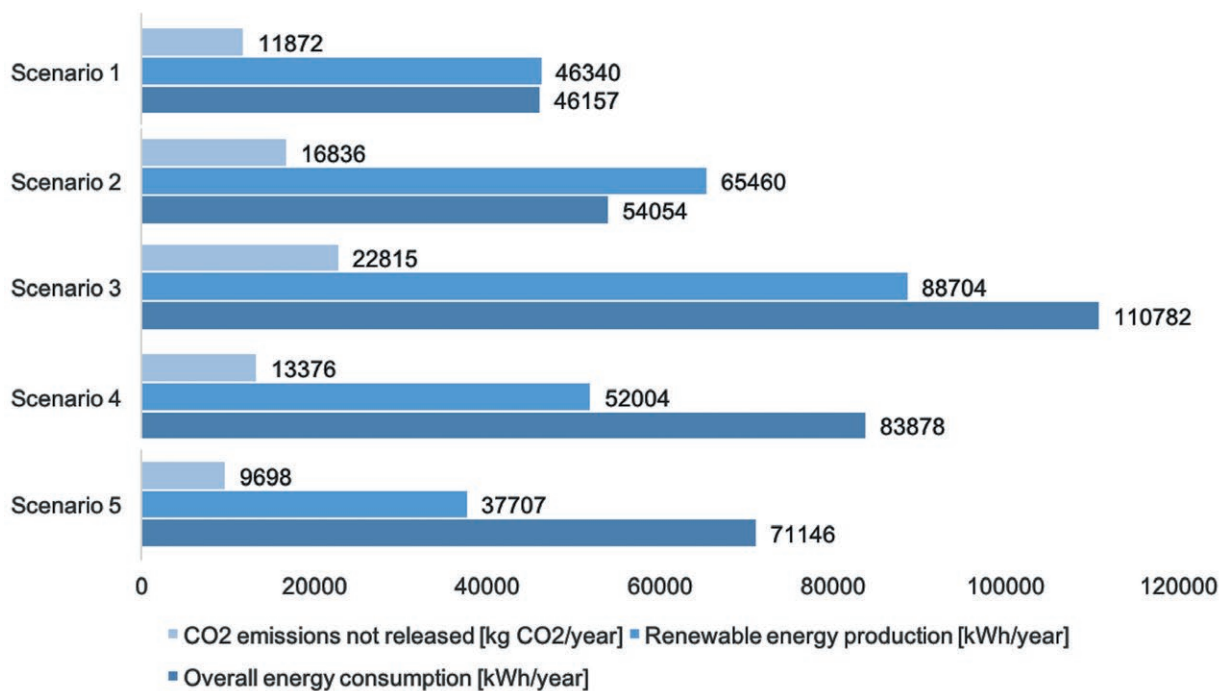
The research interprets the built heritage as a strategic resource for the synergistic integration of passive behaviour and active systems, for the control of indoor and outdoor thermo-hygrometric comfort, and

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 CO₂ 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 CO₂ 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

¹Fonte: BPIE – Buildings Performance Institute Europe, www.bpie.eu.

²Dati 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>

³Cfr. 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).

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.

REFERENCES

Ahmed, N.M., Altamura, P., Giampaolletti, M., Fahd, A. H. and Abdela-ziz 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).

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).