

Valeria D'Ambrosio¹, <https://orcid.org/0000-0002-0201-0590>

Katia Perini², <https://orcid.org/0000-0003-0415-8246>

¹ Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia

² Dipartimento architettura e design, Università di Genova, Italia

valeria.dambrosio@unina.it

katia.perini@unige.it

Abstract. I rischi ambientali e climatici rappresentano una sfida crescente per l'ambiente costruito, con effetti rilevanti su città, infrastrutture e territori. L'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, insieme alla pressione antropica sugli ecosistemi, amplifica vulnerabilità sociali, economiche e ambientali. Il contributo analizza il ruolo della conoscenza e della prevenzione nella gestione dei rischi, evidenziando la necessità di integrare dati osservativi, modelli di rischio e scenari strategici nei processi decisionali orientati alla pianificazione e alla progettazione. Attraverso una prospettiva multirischio, il lavoro sottolinea l'importanza di strategie integrate di adattamento e mitigazione per la rigenerazione e la resilienza urbana. L'adozione di approcci interdisciplinari, strumenti di supporto alle decisioni e processi partecipativi consente di trasformare la conoscenza scientifica in azioni preventive efficaci, contribuendo alla costruzione di sistemi urbani più resilienti e sostenibili.

Parole chiave: Multirischio; Ambiente costruito; Vulnerabilità urbana; Mitigazione; Adattamento.

Introduzione

I rischi che interessano l'ambiente costruito assumono oggi un ruolo centrale nelle discipline che si occupano di città, infrastrutture e territorio. In particolare, i rischi di natura ambientale dominano le prospettive di medio e lungo periodo: eventi meteorologici estremi, perdita di biodiversità, collasso degli ecosistemi, alterazioni critiche dei sistemi terrestri e scarsità di risorse naturali rappresentano alcune delle principali minacce per le società contemporanee, come evidenziato dal *Global Risk Report 2024* (Global Economic Forum, 2024). L'intensificazione di tali fenomeni produce effetti trasversali in diversi settori – economico, sanitario e ambientale – accentuando al contempo disuguaglianze preesistenti e colpendo in modo più marcato territori e gruppi sociali vulnerabili.

RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT IN THE BUILT ENVIRONMENT: KNOWLEDGE, STRATEGIES, AND DESIGN

Abstract. Environmental and climate-related risks present a growing challenge for the built environment, with significant impacts on cities, infrastructures and territories. The increasing frequency and intensity of extreme events, together with anthropogenic pressure on ecosystems, amplify social, economic and environmental vulnerabilities. The paper analyses the role of knowledge and prevention in risk management, highlighting the need to integrate observational data, risk models, and strategic scenarios into decision-making processes oriented toward planning and design. Through a multi-risk perspective, the study emphasises the importance of integrated adaptation and mitigation strategies for urban regeneration and resilience. The adoption of interdisciplinary approaches, decision support tools, and participatory processes enables the transformation of scientific knowledge into effective preventive actions, contribut-

L'aumento della pressione antropica sull'ambiente è strettamente connesso sia alla crescita della popolazione mondiale sia all'incremento della sua concentrazione nelle aree urbane (United Nations, DESA Population Division, 2018). A questo si aggiungono modelli produttivi fondati su uno sfruttamento intensivo delle risorse naturali e dinamiche di consumo non sostenibili, che contribuiscono ad amplificare la vulnerabilità degli ecosistemi e delle comunità (Aznarez *et al.*, 2024; Metzger *et al.*, 2006; Seto *et al.*, 2012, 2010).

Tra le manifestazioni più evidenti degli esiti della pressione antropica sull'ambiente vi sono gli eventi atmosferici intensi legati al cambiamento climatico, che comprendono precipitazioni estreme, ondate di calore, siccità prolungate, venti forti e alluvioni improvvise (Kim and Brown, 2021; Mastrantonas *et al.*, 2021; Mosca *et al.*, 2023; Nie *et al.*, 2024). Tali fenomeni incidono direttamente sul benessere delle persone e sulla stabilità dei sistemi urbani, generando condizioni di rischio per la sicurezza e la qualità della vita (Cacciatore *et al.*, 2025). In questo scenario, diventa necessario affrontare tali problematiche a diverse scale – da quella territoriale e urbana fino a quella edilizia – attraverso approcci progettuali e di ricerca capaci di integrare previsione, prevenzione e gestione del rischio, promuovendo al contempo una maggiore consapevolezza delle dinamiche ambientali in atto.

In tale prospettiva, il tema della conoscenza del rischio e quello delle strategie integrate di adattamento e mitigazione assumono un ruolo centrale per orientare le trasformazioni dell'ambiente costruito e rafforzare la resilienza dei sistemi urbani.

ing to the development of more resilient and sustainable urban systems.

Keywords: Multi-risk; Built environment; Urban vulnerability; Climate adaptation.

Introduction

Risks affecting the built environment have become a central concern across disciplines dealing with cities, infrastructures, and territorial systems. In particular, environmental risks dominate both medium and long-term perspectives. Extreme weather events, biodiversity loss, ecosystem collapse, critical alterations of Earth systems, and the scarcity of natural resources are some of the main threats to contemporary societies, as highlighted in the *Global Risks Report 2024* (World Economic Forum, 2024). The intensification of these phenomena produces cross-sectoral impacts – economic,

health-related, and environmental – while also exacerbating existing inequalities and disproportionately affecting vulnerable territories and social groups.

The growing anthropogenic pressure on the environment is closely linked both to global population growth and to its increasing concentration in urban areas (United Nations, DESA Population Division, 2018). This trend is further reinforced by production models based on the intensive exploitation of natural resources, and by unsustainable consumption patterns, which contribute to increasing the vulnerability of ecosystems and communities (Aznarez *et al.*, 2024; Metzger *et al.*, 2006; Seto *et al.*, 2010; 2012).

The most evident manifestations of anthropogenic pressure on the environment are intense atmospheric events associated with climate change,

Dalla conoscenza del rischio alla prevenzione nell'ambiente costruito

Se il rischio costituisce uno dei principali motori delle trasformazioni sociali, politiche e culturali nel mondo contemporaneo (Beck, 2000), anche la sua percezione, a diverse scale e differenti livelli decisionali, assume un ruolo centrale. Anche perché il processo di metamorfosi in atto non rappresenterebbe, secondo Beck, «un cambiamento sociale, né una trasformazione, né una evoluzione, o rivoluzione, o crisi, ma una modalità di cambiamento della natura stessa dell'esistenza umana» (Battisti, 2025). La percezione del rischio influenza non solo le risposte immediate, ma anche gli orientamenti di lungo periodo, rendendo necessarie azioni strutturate di informazione, educazione e coinvolgimento attivo delle comunità su temi che incidono direttamente su sicurezza, salute e benessere collettivo. Non è un caso che misinformazione e disinformazione figurino tra i rischi a breve termine più rilevanti individuati dal *Global Risk Report* (World Economic Forum, 2024).

In questo quadro, la qualità della conoscenza tecnica diventa determinante per orientare scelte progettuali e dei *policy makers*. La comprensione del rischio deve essere continuamente aggiornata attraverso l'integrazione di dati osservativi, scenari climatici e analisi di esposizione e vulnerabilità. Tale processo non può limitarsi alla produzione di dati, ma richiede la selezione di dataset appropriati, la verifica della coerenza dei modelli rispetto alle osservazioni storiche e la loro traduzione in strumenti utili alla pianificazione e alla progettazione. Come indicato dal *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2015) e dalle *EU-Level Technical Guidance on Climate Proofing* (European Commission, 2021b), la gestione del rischio

richiede l'integrazione sistematica di valutazioni strutturate di pericolosità, esposizione e vulnerabilità nei processi decisionali. La prevenzione si fonda sull'utilizzo proattivo di tale conoscenza, anticipando i pericoli e riducendo l'esposizione prima che si producano danni. Un approccio multirischio risulta essenziale, poiché eventi quali quelli sismici, idrogeologici o meteorologici tendono a manifestarsi in combinazione piuttosto che isolatamente (Owolabi and Sajjad, 2023). I modelli di rischio avanzati supportano questa fase consentendo di stimare non solo la probabilità e la localizzazione degli eventi, ma anche i loro potenziali impatti su insediamenti, infrastrutture e popolazione (Ming *et al.*, 2022).

L'avvento del nuovo regime climatico introduce ulteriori complessità, poiché altera le proprietà statisticamente consolidate dei fenomeni pericolosi e mette in discussione l'ipotesi di stazionarietà su cui si basano molte metodologie tradizionali. In questo contesto, le proiezioni climatiche non costituiscono previsioni deterministiche, ma descrivono risposte condizionate del sistema climatico a specifici scenari di emissione e sviluppo socio-economico, fornendo una gamma di possibili evoluzioni future (IPCC, 2023) che rappresentano la base conoscitiva per orientare decisioni preventive e strategie di adattamento.

L'ambiente costruito assume una posizione strategica, poiché è al tempo stesso bene esposto e fattore determinante della vulnerabilità della popolazione (IPCC, 2023). L'obsolescenza del patrimonio edilizio e infrastrutturale, unita alla crescente fragilità dei territori, accresce l'esposizione di popolazioni e asset economici ai pericoli climatici (UNDRR, 2024). Le vulnerabilità sociali ed economiche, connesse alla qualità dell'ambiente, alle dinamiche demografiche e alle disuguaglianze, amplifica-

including extreme precipitation, heatwaves, prolonged drought, strong winds, and flash floods (Kim and Brown, 2021; Mastrantonas *et al.*, 2021; Mosca *et al.*, 2023; Nie *et al.*, 2024). These phenomena directly affect human wellbeing and the stability of urban systems, creating significant risks for safety and quality of life (Cacciatore *et al.*, 2025). In this context, addressing such challenges at multiple scales – from territorial and urban levels to the building scale – becomes essential through research and design approaches capable of integrating risk prediction, prevention, and management, while also fostering greater awareness of ongoing environmental dynamics.

From this perspective, both risk knowledge and integrated adaptation and mitigation strategies become essential elements for guiding transfor-

mations in the built environment, and for strengthening the resilience of urban systems.

From Risk Knowledge to Prevention in the Built Environment

If risk constitutes one of the main drivers of social, political, and cultural transformations in contemporary society (Beck, 2000), its perception at different scales and decision-making levels also becomes central. Indeed, according to Beck, the ongoing process of metamorphosis is not a social change, transformation, evolution, revolution, or crisis, but rather “a change in the very nature of human existence” (Battisti, 2025). Risk perception influences not only immediate responses but also long-term orientation, making structured actions centred on information, education, and active community engagement

necessary on issues that directly affect safety, health, and collective wellbeing. Hence, it is not surprising that misinformation and disinformation rank among the most relevant short-term risks identified in the *Global Risks Report* (World Economic Forum, 2024). In this framework, the quality of technical knowledge becomes crucial for guiding both design choices and policy-making processes. Understanding risk requires continuous updates through the integration of observational data, climate scenarios, and analyses of exposure and vulnerability. This process cannot be limited to the mere data production. Instead, it requires the selection of appropriate datasets, the verification of model consistency with historical observations, and the translation of information into tools useful for planning and design. As indicated by the *Sendai Framework*

for Disaster Risk Reduction (UNDRR, 2015), and the *EU-Level Technical Guidance on Climate Proofing* (European Commission, 2021b), risk management requires the systematic integration of structured hazard, exposure, and vulnerability assessments into decision-making processes. Prevention relies on the proactive use of such knowledge, anticipating hazards and reducing exposure before damage occurs. A multi-risk approach is, therefore, essential, since events such as seismic, hydrogeological, and meteorological hazards tend to occur in combination rather than as isolated events (Owolabi and Sajjad, 2023). Advanced risk models support this phase by enabling the estimation not only of the probability and spatial distribution of events but also of their potential impacts on settlements, in-

no ulteriormente gli effetti degli eventi estremi, rendendo urgente l'integrazione sistematica delle valutazioni di rischio nei processi di pianificazione e progettazione, come previsto dalla Strategia Europea di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (European Commission, 2021a).

Infine, affinché la conoscenza produca effetti concreti in termini di prevenzione, è necessario un dialogo strutturato tra comunità scientifica, amministrazioni, professionisti e cittadini (IPCC, 2023). Strumenti di comunicazione chiari, processi partecipativi e sistemi di monitoraggio condivisi consentono di trasformare dati e scenari in azioni preventive verificabili nel tempo, in linea con il Sendai Framework e con la Strategia Europea di Adattamento (European Commission, 2021; UNDRR, 2015).

Strategie integrate di adattamento e mitigazione del rischio per la rigenerazione e la resilienza urbana in scenari multi-hazard

degli eventi climatici estremi, unita alla crescente esposizione dei sistemi insediativi e della popolazione, impone pertanto una revisione sostanziale dei modelli di pianificazione e di progettazione degli interventi di adattamento e mitigazione. In tale contesto, la gestione del rischio non può più essere affrontata attraverso approcci settoriali o frammentati, ma richiede quadri interpretativi e operativi integrati, capaci di connettere in modo sistemico dimensioni ambientali, sociali, economiche e infrastrutturali.

Le città contemporanee si configurano sempre più come sistemi esposti in scenari multirischio, nei quali hazard differenti interagiscono generando effetti cumulativi, concatenati e non lineari. L'intensificazione

Negli scenari multi-hazard, infatti, il rischio deve essere assunto come esito di relazioni dinamiche tra vulnerabilità, esposizione, caratteristiche dei contesti locali e interazioni tra fattori naturali, ambientali e antropici. Ne deriva la necessità di modelli conoscitivi in grado di integrare osservazione, valutazione degli impatti e definizione delle priorità di intervento entro una cornice unitaria, nella quale la resilienza urbana non sia intesa soltanto come capacità di risposta agli *shock*, ma come principio ordinatore dei processi di trasformazione. In questa prospettiva, l'interazione tra rischio, trasformazione urbana e resilienza diventa un nodo centrale del progetto contemporaneo, soprattutto nei contesti in cui le pressioni climatiche si sovrappongono a fragilità strutturali pregresse (Menoni, 2025).

La ricerca ha progressivamente elaborato strumenti per l'identificazione e la classificazione dei livelli di intervento, evidenziando come l'efficacia delle strategie urbane dipenda dalla capacità di agire non solo sugli effetti dei fenomeni ma, ove possibile, anche sulle loro determinanti strutturali. In questo senso, l'integrazione tra adattamento e mitigazione si consolida come presupposto indispensabile per la costruzione di politiche e progetti di resilienza realmente efficaci, in quanto consente di affrontare simultaneamente la riduzione delle vulnerabilità, il contenimento delle pressioni ambientali e il rafforzamento della capacità adattiva dei territori.

Tale esigenza appare ancora più evidente se si considera che gran parte degli insediamenti urbani esistenti è stata concepita in fasi storiche nelle quali le condizioni di multirischio, e soprattutto le loro reciproche interazioni, non costituivano un riferimento centrale per il progetto. Ne consegue la necessità di riformulare strumenti conoscitivi e approcci progettuali alla luce dell'evol-

frastructures, and populations (Ming *et al.*, 2022).

The emergence of a new climatic regime introduces additional complexity, as it alters the historically established statistical properties of hazardous phenomena, and challenges the stationarity assumptions on which many traditional methodologies are based. In this context, climate projections do not constitute deterministic forecasts; rather, they describe climate system responses conditioned by specific emission and socio-economic development scenarios, providing a range of possible future evolutions (IPCC, 2023). These options form the knowledge base for guiding preventive decisions and adaptation strategies.

Hence, the built environment assumes a strategic role, as it is both the primary asset exposed to hazards, and a determinant of population vulnerability

(IPCC, 2023). The ageing of building stock and infrastructures, combined with the increasing fragility of territories, heightens the exposure of populations and economic assets to climate hazards (UNDRR, 2024). Social and economic vulnerabilities—linked to environmental quality, demographic dynamics, and inequalities—further amplify the effects of extreme events, making the systematic integration of risk assessments into planning and design processes increasingly urgent, as emphasised by the *EU Strategy on Adaptation to Climate Change* (European Commission, 2021a).

Finally, a structured dialogue among the scientific community, administrations, professionals, and citizens is required for knowledge to translate into effective preventive action (IPCC, 2023). Clear communication tools, participatory processes, and shared

monitoring systems enable the transformation of data and scenarios into preventive actions that can be evaluated over time, in line with the *Sendai Framework* and the *European Adaptation Strategy* (European Commission, 2021; UNDRR, 2015).

Integrated Adaptation and Risk Mitigation Strategies for Urban Regeneration and Resilience in Multi-Hazard Scenarios

Contemporary cities increasingly function as systems exposed to multi-risk scenarios in which different hazards interact, generating cumulative, cascading, and non-linear effects. The intensification of extreme climate events, combined with the growing exposure of settlements and populations, requires adaptation and mitigation interventions to be designed, as well as a substantial revision of planning mod-

els. In this context, risk management can no longer be addressed through sectoral or fragmented approaches but requires integrated interpretative and operational frameworks capable of connecting environmental, social, economic, and infrastructural dimensions.

In multi-hazard scenarios, risk must be understood as the outcome of dynamic relationships among vulnerability, exposure, local context characteristics, and interactions between natural, environmental, and anthropogenic factors. This calls for knowledge models capable of integrating observation, impact assessment, and the prioritisation of interventions within a unified framework, in which urban resilience is understood not only as the ability to respond to shocks but also as a guiding principle for urban transformation processes. From this perspective, the

zione della cultura del rischio, tanto sul piano nazionale quanto su quello internazionale. In questa direzione si collocano, ad esempio, gli indirizzi sviluppati nell'ambito del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (2023) e, più in generale, gli approcci riconducibili a una prospettiva di "resilient urbanism", orientata a integrare sicurezza territoriale, qualità della vita urbana e trasformazione ecologica.

All'interno di questa cornice, il cambiamento climatico assume una rilevanza peculiare in quanto opera come "*threat multiplier*", ossia come fattore capace di amplificare fragilità pregresse e di intensificare tensioni già presenti nei sistemi urbani e territoriali. Il rischio climatico, pertanto, non può essere considerato una categoria autonoma e separata, ma va interpretato come una componente trasversale che interagisce con altre condizioni critiche e altri rischi, producendo effetti di tipo "*cascade*" e "*compound*". Come osservato da Goodman *et al.* (2007), esso può infatti innescare o aggravare situazioni già segnate da fragilità, conflitti o competizione per le risorse. Tale dinamica è riscontrabile in diversi ambiti: l'aumento delle ondate di calore aggrava i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori esposti all'aperto; l'innalzamento del livello del mare amplifica i danni al patrimonio edilizio costiero e i costi assicurativi; la scarsità idrica compromette la produttività agricola, con ricadute sulle filiere di approvvigionamento e sulla sicurezza alimentare. Gli scenari di rischio indotti dal cambiamento climatico alla scala locale si connettono alla valutazione del grado di vulnerabilità delle aree urbane per considerare appropriate strategie di adattamento e di maggiore efficacia in base a una conoscenza dettagliata dei contesti (Tucci *et al.*, 2021). Ne consegue che i processi di conoscenza, pianificazione e progetto debbano assumere un

orientamento esplicitamente "climate-resilient", individuando contesti critici e aree urbane "hot spot", capace non solo di contrastare gli impatti climatici, ma anche di ridurre esposizione e vulnerabilità agli altri rischi interconnessi (Losasso *et al.*, 2024). In tale prospettiva, la distinzione tra componenti "green" e "grey" dei sistemi urbani, proposta dalla letteratura e ripresa dalle tassonomie dell'ISPRA – Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, nonché del Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico, assume una forte rilevanza operativa. Essa non va letta come una semplice classificazione descrittiva, ma come un dispositivo interpretativo utile a orientare le strategie di transizione ecologica e a rendere praticabili le possibili integrazioni tra molteplici soluzioni di adattamento. Il punto, infatti, non consiste nel contrapporre due modelli di intervento, bensì nel comprenderne la complementarità entro processi di trasformazione eco-orientati, nei quali riduzione del rischio, adattamento climatico e miglioramento della qualità urbana concorrano alla definizione di un medesimo quadro strategico.

È proprio su questo terreno che le strategie di adattamento e mitigazione climatica assumono un ruolo di cerniera tra gestione del rischio, rigenerazione urbana e transizione ecologica. Esse possono infatti funzionare come dispositivi di integrazione delle risposte multi-hazard, attribuendo centralità a interventi in grado di produrre simultaneamente benefici climatici, ambientali e sociali. In particolare, le azioni "green & grey" possono essere interpretate come leve conoscitive e progettuali per promuovere processi di "*climate risk-oriented regeneration*", nei quali, per esempio, infrastrutture ibride, superfici permeabili, aree vegetate e interventi di greening edilizio e urbano concor-

interaction between risk, urban transformation, and resilience becomes a key issue in contemporary design, particularly in contexts where climate pressures overlap with former structural fragilities (Menoni, 2025).

Research has progressively developed tools for identifying and classifying intervention levels, highlighting how the effectiveness of urban strategies depends on the ability to act not only on the effects of hazards but, where possible, also on their structural determinants. In this sense, the integration of adaptation and mitigation emerges as a fundamental prerequisite for building effective resilience policies and projects, as it enables the simultaneous reduction of vulnerabilities and the containment of environmental pressures, while also strengthening the adaptive capacity of territories.

This need becomes more evident when considering that much of the existing urban fabric was conceived during historical periods in which multi-risk conditions – and especially their interactions – were not central considerations for design. Consequently, knowledge tools and design approaches must be reformulated in light of the evolving culture of risk at both national and international levels. Initiatives such as the (Italian) National Climate Change Adaptation Plan (2023) and, more broadly, approaches associated with resilient urbanism move in this direction, aiming to integrate territorial safety, urban quality of life, and ecological transformation.

Within this framework, climate change assumes particular relevance as a "threat multiplier", that is, a factor capable of both amplifying previously existing vulnerabilities and intensify-

ing tensions already present within urban and territorial systems. Hence, climate risk cannot be considered an isolated or autonomous category; rather, it should be interpreted as a transversal component interacting with other critical conditions and risks, generating cascade and compound effects. As noted by Goodman *et al.* (2007), climate change can either trigger or exacerbate situations already characterised by fragility, conflict, or competition over resources.

Such dynamics are evident across multiple sectors. Indeed, increasing heatwaves heighten health and safety risks for workers exposed to outdoor conditions; sea-level rise amplifies damage to coastal built heritage and increases insurance costs; and water scarcity reduces agricultural productivity, with consequences for supply chains and food security. Climate change–in-

duced risk scenarios at the local scale are closely linked to the assessment of urban vulnerability, which is essential for identifying appropriate and effective adaptation strategies based on a detailed understanding of local contexts (Tucci *et al.*, 2021).

Consequently, knowledge production, planning, and design processes must adopt an explicitly climate-resilient orientation aimed at identifying critical contexts and urban "hotspots." Such an approach should not only address climate impacts but also reduce exposure and vulnerability to interconnected risks (Losasso *et al.*, 2024).

In this perspective, the distinction between "green" and "grey" components of urban systems – proposed in the literature and adopted by ISPRA taxonomies – assumes strong operational relevance. Rather than representing

rono ad accrescere la resilienza urbana attraverso l'attivazione di servizi ecosistemici complementari, quali il controllo microclimatico, la gestione delle acque meteoriche e il rafforzamento della biodiversità urbana (Huang *et al.*, 2025). La loro rilevanza risiede nella capacità di produrre co-benefici che travalicano la sola sfera climatica e incidono anche su altre forme di vulnerabilità urbana.

Parallelamente, negli scenari di contrasto del multirischio acquistano crescente importanza le dimensioni sociali e partecipative. In tale ambito, gli *"Urban Living Labs"* e i processi di *"co-design"* si configurano come strumenti rilevanti per la co-produzione di conoscenza e per la costruzione di soluzioni contestualizzate, poiché consentono di coinvolgere attivamente comunità locali e stakeholder nella definizione, sperimentazione e valutazione degli interventi. La resilienza urbana, da questo punto di vista, non si esaurisce nella robustezza delle infrastrutture o nell'efficienza dei dispositivi tecnici, ma si misura anche nella capacità istituzionale e sociale di attivare forme collaborative di governance delle trasformazioni urbane (Amorim *et al.*, 2022).

I processi di rigenerazione urbana devono pertanto essere interpretati come sistemi dinamici, aperti e condizionati nel tempo da variabili politiche, economiche e socio-ambientali. Per questa ragione, una prospettiva orientata alla resilienza richiede una visione di lungo periodo, capace di integrare pianificazione, governance e investimenti infrastrutturali entro traiettorie trasformative coerenti. In questo quadro si colloca il ruolo dei Sistemi di Supporto alle Decisioni (*"Decision Support Systems"*, DSS), intesi non solo come strumenti tecnico-operativi, ma come dispositivi di mediazione tra conoscenza, progetto e decisione pubblica. Linee guida, protocolli, *"design proposal"* e

manuali operativi possono infatti contribuire a rendere trasferibili gli esiti delle ricerche o di attività operative, supportando i decisori nella definizione di strategie resilienti fondate su evidenze e scenari comparativi.

L'impiego di analisi *"what-if"* e di strumenti di simulazione multirischio appare, in questo senso, particolarmente significativo, poiché consente di mettere a confronto alternative progettuali differenti e di valutarne gli effetti rispetto a combinazioni complesse di hazard. La simulazione assume così non una funzione meramente descrittiva, ma un valore propriamente strategico, in quanto permette di integrare la valutazione degli impatti all'interno dei processi di scelta e di orientare gli interventi verso soluzioni più robuste, adattive e contestualmente appropriate (De Fino *et al.*, 2023).

Infine, la valutazione delle tecnologie e delle alternative tecniche utilizzabili negli interventi non può limitarsi al solo piano prestazionale, ma deve includere anche le implicazioni etiche, economiche e sociali. È in questa prospettiva che il paradigma della *"just transition"* acquisisce una rilevanza decisiva, offrendo una cornice entro cui collocare adattamento e mitigazione come componenti di una più ampia trasformazione urbana, orientata alla costruzione di metabolismi sostenibili, alla riduzione degli scarti, all'uso non estrattivo delle risorse e all'adozione dei principi dell'economia circolare (Russo, 2026). La rigenerazione urbana non coincide dunque con una sommatoria di interventi fisici, ma con un processo di riconfigurazione dei rapporti tra ambiente costruito, sistemi ecologici e pratiche sociali, nel quale la gestione integrata del rischio diventa parte costitutiva del progetto. In tale quadro, interventi quali ad esempio *"green roofs"*, superfici permeabili o infrastrutture ibride,

a purely descriptive classification, it becomes an interpretative framework for guiding ecological transition strategies, and for enabling integration among different solutions. The key issue is not to oppose two intervention models but to understand their complementarity within eco-oriented transformation processes in which risk reduction, climate adaptation, and improvements in urban quality converge within a shared strategic framework. In this context, adaptation and mitigation strategies function as a hinge between risk management, urban regeneration, and ecological transition. They act as integrative mechanisms for multi-hazard responses, prioritising interventions capable of generating simultaneous climatic, environmental, and social benefits. In particular, *"green and grey"* actions can be interpreted as knowledge-based and de-

sign-oriented tools for promoting processes of climate risk-oriented regeneration, in which, for example, hybrid infrastructures, permeable surfaces, vegetated areas, and urban greening interventions contribute to enhancing urban resilience through ecosystem services such as microclimatic regulation, stormwater management, and the reinforcement of urban biodiversity (Huang *et al.*, 2025). Their importance lies in their capacity to produce co-benefits that extend beyond the climatic dimension, and address broader forms of urban vulnerability.

At the same time, social and participatory dimensions are gaining increasing importance in multi-risk scenarios. Urban Living Labs and co-design processes are important tools for knowledge co-production, and for the development of context-specific solutions. They enable the active involvement of

local communities and stakeholders in defining, testing, and evaluating interventions. From this perspective, urban resilience is measured not only by the robustness of infrastructures or the efficiency of technical devices but also by the institutional and social capacity to activate collaborative governance processes for urban transformation (Amorim *et al.*, 2022).

Urban regeneration processes must, therefore, be interpreted as dynamic and open systems influenced over time by political, economic, and socio-environmental variables. A resilience-oriented perspective requires a long-term vision capable of integrating planning, governance, and infrastructural investments within coherent transformation trajectories. Within this framework, Decision Support Systems (DSS) play a crucial role not only as technical tools but also as mediating instruments be-

tween knowledge production, design processes, and public decision-making. Guidelines, protocols, design proposals, and operational manuals can help make research outcomes transferable, supporting decision-makers in defining resilient strategies based on evidence and comparative scenarios. The use of what-if analyses and multi-hazard simulation tools is particularly relevant in this regard, as it allows different design alternatives to be compared, and their impacts to be evaluated under complex hazard combinations. Hence, simulation does not merely assume a descriptive role but a strategic one, enabling impact assessments to be integrated into decision-making processes, and guiding interventions toward more robust, adaptive, and context-appropriate solutions (De Fino *et al.*, 2023).

mostrano non solo benefici microclimatici, ma anche rilevanti co-benefici sociali ed ecosistemici, confermando il potenziale delle strategie integrate nel sostenere forme più eque, adattive e durevoli di trasformazione urbana (Bleicher, 2025).

Verso strategie integrate di resilienza urbana

La gestione dei rischi nell'ambiente costruito richiede un approccio integrato capace di connettere conoscenza scientifica, strumenti di previsione e strategie di prevenzione. In uno scenario caratterizzato dall'intensificazione dei fenomeni climatici e dall'interazione tra rischi naturali, ambientali e antropici, diventa fondamentale superare approcci settoriali e adottare prospettive multirischio. La centralità dell'ambiente costruito emerge sia come principale bene esposto sia come fattore determinante della vulnerabilità delle comunità. In questo contesto, l'integrazione tra adattamento e mitigazione, insieme allo sviluppo di strumenti di supporto alle decisioni e di processi partecipativi, rappresenta una condizione essenziale per rafforzare la resilienza urbana. Le strategie progettuali e di pianificazione devono quindi orientarsi verso modelli di trasformazione capaci di ridurre esposizione e vulnerabilità, promuovendo al contempo co-benefici ambientali, sociali ed economici.

REFERENCES

Amorim, E.E.R., Menezes, M. and Fernandes, K.V.G. (2022), "Urban living labs and critical infrastructure resilience: A global match?", *Sustainability*, 14(16), p. 9826. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14169826>.

Finally, the evaluation of technologies and technical alternatives cannot be limited to performance criteria alone but must also consider ethical, economic, and social implications. In this perspective, the paradigm of just transition becomes particularly relevant, providing a framework within which adaptation and mitigation can be integrated into broader processes of urban transformation oriented toward sustainable metabolisms, waste reduction, non-extractive resource use, and circular economy principles (Russo, 2026). Urban regeneration is not merely a set of physical interventions but a broader process of reconfiguring relationships between the built environment, ecological systems, and social practices. Within this framework, interventions such as green roofs, permeable surfaces, and hybrid infrastructures demonstrate not only microclimatic benefits

but also significant social and ecosystem co-benefits, confirming the potential of integrated strategies to support more equitable, adaptive, and long-term urban transformation processes (Bleicher, 2025).

Towards Integrated Urban Resilience Strategies

Risk management in the built environment requires an integrated approach capable of connecting scientific knowledge, predictive tools, and preventive strategies. In a context characterised by intensifying climate phenomena and increasing interactions between natural, environmental and anthropogenic risks, it becomes essential to move beyond sectoral approaches and adopt multi-risk perspectives.

Within this framework, the built environment plays a central role, both as the primary asset exposed to hazards,

Aznarez, C., Kumar, S., Marquez-Torres, A., Pascual, U. and Baró, F. (2024), "Ecosystem service mismatches evidence inequalities in urban heat vulnerability", *Science of the Total Environment*, 922, p. 171215. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171215>.

Battisti, A. (2025), "Do technologists dream of digital sheep? Reflections upon changes and metamorphoses in research", in Losasso, M. and Romano, R. (eds.), *Progettazione Ambientale, sfide globali, scenari di ricerca. Contributi alla ricerca del Cluster Progettazione Ambientale della Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.

Bleicher, J. and Kumar, P. (2025), "A novel framework integrating resilient and sustainable urbanism for designing climate-resilient sustainable urban neighbourhoods", *Sustainable Cities and Society*, 130, p. 106577. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106577>.

Cacciatore, S., Mao, S., Nuñez, M.V., Massaro, C., Spadafora, L., Bernardi, M., Perone, F., Sabouret, P., Biondi-Zoccai, G., Banach, M., Calvani, R., Tosato, M., Marzetti, E. and Landi, F. (2025), "Urban health inequities and healthy longevity: Traditional and emerging risk factors across cities and policy implications", *Aging Clinical and Experimental Research*, 37, p. 143. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40520-025-03052-1>.

De Fino, M., Tavalare, R., Bernardini, G., Quagliarini, E. and Fatiguso, F. (2023), "Boosting urban community resilience to multi-hazard scenarios in open spaces: A virtual reality serious game training prototype for heat wave protection and earthquake response", *Sustainable Cities and Society*, 99, p. 104847. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104847>.

European Commission (2021), *EU Adaptation Strategy*. Available at: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/adaptation-climate-change/eu-adaptation-strategy_en.

European Commission (2025), *Nature Restoration Regulation*.

Huang, X., Yao, R., Halios, C.H., Kumar, P. and Li, B. (2025), "Integrating green infrastructure, design scenarios, and social-ecological-technological systems for thermal resilience and adaptation: Mechanisms and approach

and as a key determinant of community vulnerability. Consequently, the integration of adaptation and mitigation strategies, together with decision-support tools and participatory processes, becomes fundamental for strengthening urban resilience.

Planning and design strategies should, therefore, guide urban transformation toward models capable of reducing exposure and vulnerability, while simultaneously generating environmental, social, and economic co-benefits.

- ches”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 212, p. 115422. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115422>.
- IPCC (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Kim, S.W. and Brown, R.D. (2021), “Urban heat island (UHI) variations within a city boundary: A systematic literature review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, p. 111256. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111256>.
- Losasso, M., Clemente, M.F., Sferratore, A. and Verde, S. (2024), “Systemic approach and multi-scalar urban knowledge: Urban hotspot and critical context identification”, *RETURN Dissemination Workshop*, Torino (Italy), 1–2 February 2024. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10598007>.
- Mastrantonas, N., Herrera-Lormendez, P., Magnusson, L., Pappenberger, F. and Matschullat, J. (2021), “Extreme precipitation events in the Mediterranean: Spatiotemporal characteristics and connection to large-scale atmospheric flow patterns”, *International Journal of Climatology*, 41, pp. 2710–2728. Available at: <https://doi.org/10.1002/joc.6985>.
- Menoni, S. (2025), “Urban planning for disaster risk reduction and climate change adaptation: A review at the crossroads of research and practice”, *Sustainability*, 17(20), p. 9092. Available at: <https://doi.org/10.3390/su17209092>.
- Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R. and Schröter, D. (2006), “The vulnerability of ecosystem services to land use change”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, pp. 69–85. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025>.
- Mosca, F., Canepa, M. and Perini, K. (2023), “Strategies for adaptation to and mitigation of climate change: Key performance indicators to assess nature-based solutions performances”, *Urban Climate*, 49, p. 101580. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101580>.
- Nie, G., Yang, J., Zhang, Y., Xiao, X., Xia, J., Cai, X. and Li, C. (2024), “Duration of exposure to compound daytime–nighttime high temperatures and changes in population exposure in China under global warming”, *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, p. 1065. Available at: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03586-1>.
- Seto, K.C., Güneralp, B. and Hutya, L.R. (2012), “Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, pp. 16083–16088. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>.
- Seto, K.C., Sánchez-Rodríguez, R. and Fragkias, M. (2010), “The new geography of contemporary urbanization and the environment”, *Annual Review of Environment and Resources*, 35, pp. 167–194. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125336>.
- Tucci, F., Cecafofso, V. and Turchetti, G. (2021), “La multiscalarità degli interventi di adattamento climatico: programmi strategici, metaprogettazione e progetti dimostratori”, in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E. and Tucci, F. (eds.), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- UNDRR (2015), *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*.
- UNDRR (2024), *Nature-based solutions for comprehensive disaster and climate risk management: Toolkit for integrated planning and implementation of disaster risk reduction and climate change adaptation*.
- United Nations, DESA Population Division (2018), *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*.
- World Economic Forum (2024), *The Global Risks Report 2024*, 19th ed.