

ADATTAMENTO CLIMATICO E PROGETTAZIONE: DALLA SCIENZA ALL'AZIONE ATTRAVERSO RICERCA AVANZATA E COMPETENZE DIFFUSE

DOSSIER

Paola Mercogliano, <https://orcid.org/0000-0001-7236-010X>
Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italia

paola.mercogliano@cmcc.it

Abstract. La crisi climatica è un fattore di rischio crescente per città, infrastrutture e paesaggi. L'aumento della temperatura media globale (oltre $\sim 1,3^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo preindustriale) e la maggiore frequenza e intensità degli estremi meteorologici stanno già incidendo su settori strategici come salute, economia e sicurezza. Accanto a politiche di mitigazione ambiziose, rendere operative le strategie di adattamento è ormai un'esigenza concreta della progettazione e della gestione del territorio. In questa filiera, il contributo delle scienze del clima non si limita a "fornire scenari". Include la costruzione di informazioni adatte all'uso per l'ambiente costruito: selezione dei dataset più appropriati, verifica della consistenza dei modelli rispetto alle osservazioni sul periodo passato e supporto alla lettura delle incertezze in modo compatibile con decisioni tecniche. L'esperienza maturata in percorsi di ricerca applicata e in collaborazioni con soggetti che operano su pianificazione, infrastrutture e gestione dei servizi mostra che il valore aggiunto, spesso, non è la sola messa a disposizione di dati climatici. È, piuttosto, la capacità di trasformarli in requisiti e soglie comprensibili per progettisti e amministrazioni e in sistemi di monitoraggio che consentano di correggere le scelte di adattamento nel tempo. Trasformare dati e scenari in scelte verificabili richiede una filiera multidisciplinare che conduca: (i) dalla disponibilità dei dati all'interpretazione tramite indicatori leggibili; (ii) a valutazioni di rischio che includano pericolo, esposizione, vulnerabilità e capacità adattiva; (iii) alla prioritizzazione e all'implementazione delle misure; (iv) fino al monitoraggio continuo dell'efficacia nel tempo. Tra i nodi più delicati vi è la co-progettazione con amministrazioni, professionisti e cittadini. Per essere efficace, richiede un linguaggio comune, confronto continuo e competenze innovative da parte della comunità scientifica, in particolare delle scienze del clima, così da massimizzare co-benefici ambientali e sociali e ridurre disuguaglianze che il cambiamento climatico tende ad amplificare.

Parole chiave: Adattamento climatico; Rischio climatico; Co-progettazione; Servizi climatici; Città resilienti.

L'adattamento al cambiamento climatico come requisito di progetto

La frequenza e l'intensità con cui si verificano fenomeni come

L'adattamento al cambiamento climatico non deve più essere considerato un tema "di scenario": è una condizione attuale.

CLIMATE ADAPTATION AND DESIGN: FROM SCIENCE TO ACTION THROUGH ADVANCED RESEARCH AND WIDELY SHARED SKILLS

Abstract. The climate crisis is a growing risk for cities, infrastructure, and landscapes. The rise in global mean temperature (approximately more than $\sim 1,3^{\circ}\text{C}$ compared with the pre-industrial period), and the higher frequency and intensity of extreme weather and climate events are already affecting key sectors such as health, the economy, and safety. Alongside ambitious mitigation policies, making adaptation strategies workable is now a concrete need for design practice, as well as for land and asset management. In this chain of processes, climate science does not only "provide scenarios". It also builds information that can be used in the built environment, such as choosing the most suitable datasets, checking consistency between models and observations from the past, and helping decision-makers read uncertainties in a way that fits technical choices. Experience from applied research and from collaborations with ac-

tondate di calore, precipitazioni intense e siccità stanno mettendo sotto pressione la resilienza di ecosistemi e società. In questo contesto, l'adattamento comprende sia azioni trasformative (ad es. rinverdimento urbano, infrastrutture verdi e blu, riduzione dell'impermeabilizzazione) sia misure immateriali di formazione, educazione e preparazione dei territori. Tutti i settori sono coinvolti, tra questi: salute, economia, agricoltura, infrastrutture, turismo. Tuttavia, le misure di adattamento non sono uniche: cambiano in funzione delle caratteristiche locali e devono essere definite con il supporto di chi conosce e gestisce i contesti. Su questi temi cresce la consapevolezza e la collaborazione tra comunità scientifica e mondo tecnico-professionale. La sfida, oggi, è rendere questa collaborazione sistemica, cioè far sì che l'adattamento entri stabilmente nella progettazione e nella gestione.

Dal dato climatico alla decisione: una filiera operativa

Quali sono i fattori abilitanti per ottenere questa inclusione? Ci sono diversi aspetti da considerare. Un punto critico è la traduzione: un dataset climatico o una mappa di anomalia non diventano automaticamente informazione utile per stabilire priorità, confrontare varianti progettuali o definire criteri di gestione degli asset. Serve una filiera che porti dalla disponibilità e dall'elaborazione di dati di qualità, climatici e non solo (tutti quelli necessari a un'analisi di rischio), alla definizione di indicatori robusti, alla valutazione del rischio e, infine, alla decisione, includendo in modo trasparente gli attori che contribuiscono con conoscenze e responsabilità.

tors working on planning, infrastructure, and service management shows that the added value is given by the ability to turn high quality and innovative data into requirements and thresholds that designers and administrations can understand, and into monitoring systems that allow adaptation choices to be improved over time. Generally speaking, the entire process "from data to actions" requires a multidisciplinary chain that leads: (i) from data availability to interpretation through clear indicators; (ii) to risk assessments that include hazard, exposure, vulnerability, and adaptive capacity; (iii) to prioritising and implementing measures; and (iv) to continuous monitoring of effectiveness over time. One of the most delicate steps is co-design with administrations, professionals, and citizens. To work well, it needs a shared language, ongoing dialogue, and innovative skills from the scientific community to both maximise environmental

and social co-benefits, and reduce inequalities that climate change tends to worsen.

Keywords: Climate adaptation; Climate risk; Co-design; Climate services; Resilient cities.

Climate adaptation as a design requirement

Climate adaptation should no longer be seen as a "scenario topic". It is a present condition. The frequency and intensity of events such as heatwaves, heavy rainfall, and meteorological drought are putting the resilience of ecosystems and society under pressure. In this context, adaptation includes both transformative actions (e.g., urban greening, green and blue infrastructure, reducing soil sealing), and "soft" measures such as training, education, and preparedness of

In questa filiera gli esperti di cambiamento climatico supportano diversi aspetti tra quali: lo sviluppo di modelli e strumenti che rappresentano le dinamiche complesse del sistema Terra; l'uso di osservazioni per calibrare e validare i modelli; (i) la caratterizzazione del pericolo, (ii) la stima degli impatti attesi, (iii) l'analisi del rischio e (iv) la selezione di misure con obiettivi misurabili. Riconoscere questo contributo significa anche riconoscere che gli scienziati del clima sono chiamati a competenze più ampie rispetto al passato e alla capacità di dialogo con altre discipline e ambiti applicativi.

In concreto, il valore aggiunto dei climatologi emerge in alcuni passaggi che, se trascurati, rendono fragile l'intera catena decisionale. Un primo passaggio è la qualificazione del dato: capire se un prodotto (osservazioni, rianalisi, proiezioni regionali) è adeguato alla scala e alla variabile d'interesse, e con quali limiti. Un secondo passaggio è la traduzione in indicatori: ad esempio passare da temperature o precipitazioni "medie" a grandezze utili alla progettazione (stress termico, frequenza di superamento di soglie, intensità e durata di eventi rilevanti). Un terzo passaggio è l'attribuzione funzionale: collegare l'indicatore a un meccanismo di impatto (salute, comfort, prestazioni dei materiali, capacità di drenaggio, domanda idrica), così che l'informazione climatica diventi una variabile di progetto e non un allegato descrittivo. Infine, i climatologi possono supportare la definizione di criteri di robustezza: non "predire un numero", ma fornire un quadro di plausibilità e di variabilità utile a stress test, scenari multipli e scelte che restino valide al variare delle condizioni.

Questo tipo di supporto richiede modalità di lavoro che favoriscano una collaborazione continuativa tra mondo tecnico-pro-

fessionale e scienze del clima: tempi e formati compatibili con la progettazione, documentazione trasparente delle assunzioni (periodo di riferimento, scenari, metodi), e un percorso iterativo in cui dati e requisiti si raffinano insieme. In tale logica, i servizi climatici e le competenze presenti in enti di ricerca dedicati possono svolgere un ruolo di ponte tra produzione scientifica e applicazioni, aiutando amministrazioni e progettisti a integrare evidenze climatiche in modo coerente, replicabile e verificabile. Certamente un elemento essenziale per rendere davvero efficace questo processo rimane lo sviluppo della ricerca che rende disponibili scenari regionali e locali ad altissima risoluzione spazio-temporale, anche su domini complessi come città e montagne, aumentando l'affidabilità delle valutazioni e sviluppando tecniche per la gestione delle incertezze. In particolare, per rendere l'incertezza utilizzabile in ambito tecnico-professionale, è utile esplicitarla e governarla lungo la filiera. In pratica ciò significa: utilizzare più scenari e, ove possibile, più modelli; definire soglie e livelli di servizio; eseguire stress test delle soluzioni; e prevedere opzioni flessibili e aggiornabili (es. misure no-regret, soluzioni modulari). In questo modo l'incertezza non paralizza la decisione, ma diventa parte del criterio con cui si progettano robustezza, manutenzione e adattabilità nel tempo.

Framework condivisi di rischio per decidere le priorità di adattamento

Altro fattore importante per realizzare un processo di adattamento efficace è costruire un linguaggio comune tra chi contribuisce al processo, tra cui climatologi, architetti, ingegneri, urbanisti, esperti di salute pubblica e scienze sociali. Aiuta adottare *framework* condivisi, come quello dell'IPCC AR6: il

territories. All sectors are involved, including health, the economy, agriculture, infrastructure, and tourism. However, adaptation measures are not "one-size-fits-all". They depend on local features, and must be defined with the support of those who know and manage each context. Awareness is growing, and so is collaboration between the scientific community and the technical and professional world. Today's challenge is to make this collaboration systemic, so that adaptation becomes a stable part of design and management.

From climate data to decisions: an operational chain

What enables this systemic collaboration? Several aspects matter. A critical point is translation. Indeed, a climate dataset or an anomaly map does not automatically become useful informa-

tion to set priorities, compare design options, or define criteria to manage assets. We need a chain that moves from the availability and processing of high-quality data, climatic and not only climatic (all data needed for a risk analysis), to robust indicators, to risk assessment, and finally to decisions, while transparently involving the actors who bring knowledge and responsibilities.

In this chain, climate-change experts support several steps, including developing models and tools that represent complex Earth-system dynamics; using observations to calibrate and validate models; (i) describing the hazard, (ii) estimating expected impacts, (iii) analysing risk, and (iv) selecting measures with measurable objectives. Recognising this contribution also means acknowledging that climate scientists are asked for broader skills than in the

past, and for the ability to work with other disciplines and applied fields.

In practice, the added value of climatologists becomes clear in some steps that, if neglected, make the whole decision chain fragile. A first step is data qualification, understanding whether a product (observations, reanalyses, regional projections) fits the needed scale and variable, and with which limits. A second step is translation into indicators, for example by moving from "average" temperature or precipitation to quantities useful for design (heat stress, frequency of threshold exceedance, intensity and duration of relevant events). A third step is functional linkage, which means connecting the indicator to an impact mechanism (health, comfort, material performance, drainage capacity, water demand), so that climate information becomes a design variable and not just

a descriptive annex. Finally, climatologists can support robust design criteria by not "predicting one number", but by providing a plausible range and variability that supports stress tests, multiple scenarios, and choices that remain valid as conditions change.

This kind of support calls for ways of working that encourage continuous collaboration between the technical and professional world and climate science, including timelines and formats that fit design processes, transparent documentation of assumptions (reference period, scenarios, methods), and an iterative path where data and requirements are refined together. In this approach, climate services and the skills present in dedicated research organisations can act as a bridge between scientific production and applications, helping administrations and designers

rischio nasce dall'interazione tra fattori quali pericolo, esposizione e vulnerabilità ed è modulato dalla capacità adattiva. Questa struttura, maturata nel tempo dalla comunità scientifica, è efficace perché ben chiarisce, per l'ambiente costruito, quattro domande chiave: cosa cambia nel clima; dove sono persone e beni; perché subiscono danni; quali risorse (*governance*, competenze, capitale sociale, infrastrutture e servizi) riducono gli impatti.

Proporre e usare questi *framework* è importante anche perché l'adattamento non può basarsi solo sul pericolo: la stessa variazione di pericolo può generare esiti opposti in contesti diversi. Una modesta variazione di temperatura in un quartiere denso, poco ventilato e privo di verde può produrre rischio elevato; lo stesso segnale in un tessuto permeabile e ombreggiato può avere conseguenze più contenute.

Competenze diffuse e co-progettazione: dal "top-down" a soluzioni condivise

generare conflitti se percepite come interventi calati dall'alto. Per questo l'attuazione deve basarsi sulla co-progettazione e su competenze diffuse in amministrazioni, professionisti e comunità. Questa dimensione è anche una questione di giustizia: i costi dell'inazione non sono solo economici, ma anche sociali e distribuiti in modo diseguale, con impatti maggiori su gruppi vulnerabili (anziani, bambini, persone con fragilità, comunità a basso reddito o con scarso accesso ai servizi). Investire in formazione e capacità tecniche abilita una partecipazione reale e

Infine, rimane l'implementazione, spesso la fase più complessa. Le misure di adattamento modificano spazi, abitudini e accesso alle risorse e possono

rende più probabile che le misure siano accettate, mantenute e aggiornate nel tempo. Per rendere l'adattamento parte ordinaria dell'azione pubblica e professionale, la filiera deve innestarsi nei dispositivi che guidano scelte e investimenti: strumenti urbanistici e di settore, regolamenti edilizi, piani di protezione civile, capitolati e criteri prestazionali per opere e servizi, programmi di manutenzione degli asset. In questo quadro, indicatori e soglie diventano requisiti: definiscono prestazioni attese, priorità territoriali, criteri per la scelta tra varianti progettuali e procedure di verifica nel tempo.

Dal punto di vista operativo, ciò implica che gli output della filiera (indicatori, soglie, mappe di priorità, criteri di robustezza) vengano tradotti in disposizioni attuative: ad esempio requisiti prestazionali nei regolamenti edilizi, criteri per la scelta delle soluzioni in capitolati e linee guida, condizioni di manutenzione e gestione come parte integrante della progettazione, e integrazione nei piani di protezione civile e nei piani di gestione del verde e delle acque. Questo innesto normativo e procedurale è essenziale per evitare che l'adattamento resti confinato a studi conoscitivi: è il passaggio che rende confrontabili le alternative, responsabilizza gli attori e permette di verificare nel tempo se le misure funzionano nelle condizioni reali.

Indicatori, soglie e valutazione dell'efficacia: misurare per migliorare

tempo diversi aspetti tra i quali efficacia, robustezza e replicabilità, così da poterla correggere o aggiornare quando cambiano, ad esempio, condizioni climatiche, uso degli spazi e bisogni so-

Una misura di adattamento è davvero "operativa" solo se è accompagnata da un sistema di monitoraggio che ne misuri nel

integrate climate evidence in a coherent, repeatable, and verifiable way.

A key element for making this process truly effective is continued research that provides very high-resolution regional and local scenarios, also over complex domains such as cities and mountains. This increases the reliability of assessments, and improves methods to handle uncertainty. To make uncertainty usable in professional practice, it helps to make it explicit and manage it along the chain. In practice, this means using more than one scenario and, when possible, more than one model; defining thresholds and levels of service; running stress tests on solutions; and planning flexible and updatable options (e.g., no-regret measures, modular solutions). Hence, uncertainty does not block decisions but becomes part of the criteria used

to design robustness, maintenance, and long-term adaptability.

Shared risk frameworks to set adaptation priorities

Another important factor for an effective adaptation process is building a shared language among those who contribute to it, including climatologists, architects, engineers, urban planners, public-health experts, and social scientists. It helps to adopt shared frameworks, such as IPCC AR6. Risk arises from the interaction of hazard, exposure, and vulnerability, and is shaped by adaptive capacity. Developed over time by the scientific community, this structure is effective because it clarifies four key questions for the built environment, precisely what is changing in the climate; where people and assets are; why they suffer damage; and which resources (gov-

ernance, skills, social capital, infrastructure, services) reduce impacts.

Using these frameworks matters also because adaptation cannot be based on hazard alone. Indeed, the same change in hazard can lead to opposite outcomes in different contexts. A modest rise in temperature in a dense neighbourhood with low ventilation and little greenery can create high risk, while the same signal in a permeable and shaded urban fabric can have more limited consequences.

Widely shared skills and co-design: from "top-down" to shared solutions

Implementation remains the hardest phase. Adaptation measures change spaces, habits, and access to resources, and can create conflict if they are seen as imposed from above. Hence, delivery should be based on co-design, and

on widely shared skills in administrations, professionals, and communities. This is also a matter of justice. The costs of inaction are not only economic, but also social and unevenly distributed, with stronger impacts on vulnerable groups (older people, children, people with health fragilities, low-income communities, or those with limited access to services). Investing in training and technical capacity enables actual participation, and makes it more likely that measures will be accepted, maintained, and updated over time. To make adaptation a routine part of public action and professional practice, the chain must be connected to the tools that guide choices and investments, precisely urban and sector plans, building regulations, civil protection plans, tender documents and performance criteria for works and services, and asset maintenance

ciali. Gli indicatori, quindi, non descrivono soltanto il contesto ma verificano se la misura raggiunge gli obiettivi, con quali effetti collaterali e a quali costi.

Per rendere questo monitoraggio più efficace, è utile pensare a un'integrazione tra fonti e competenze: osservazioni in situ e reti locali (anche a scala di quartiere), dati satellitari, archivi di segnalazioni e impatti, e prodotti climatici che consentano di leggere gli esiti in un contesto di variabilità meteorologica e di cambiamento in atto. In questa fase, le scienze del clima possono supportare la definizione di indicatori stabili e confrontabili (ad esempio attraverso normalizzazioni), riducendo il rischio di attribuire a una misura effetti dovuti invece alla sola variabilità interannuale. Inoltre, una collaborazione strutturata con chi produce e interpreta dati climatici facilita l'aggiornamento di soglie e baseline quando cambiano uso del suolo, esposizione e vulnerabilità, mantenendo nel tempo la coerenza tra obiettivi progettuali e condizioni climatiche osservate o attese.

È utile combinare indicatori di diversa natura, quali quelli di realizzazione, funzionamento, riduzione degli impatti, equità e fruizione, co-benefici ed effetti collaterali, costi e gestione e trasferibilità. Ad esempio per il verde urbano andrà valutata nel tempo, dandone visibilità a tutti gli attori, la copertura di chioma ottenuta dagli alberi nel tempo e sopravvivenza delle alberature alle diverse condizioni climatiche; lo stato idrico del suolo; riduzione di temperatura superficiale/aria e di indici di stress termico; aumento della fruizione e della permanenza nelle ore calde; fabbisogni irrigui e costi di manutenzione. Oppure nel caso del drenaggio urbano andranno valutati, ad esempio, i risultati della misura di adattamento implementata in termini di volumi infiltrati/trattenuti, riduzione dei picchi

di portata e dei tempi di drenaggio; numero di allagamenti segnalati o misurati da sensori; percentuale di elementi ostruiti e interventi di pulizia; performance dopo eventi intensi (tempo di ripristino). Per rendere il monitoraggio utile alla decisione, conviene definire una baseline pre-intervento, una frequenza di osservazione e, ove possibile, confronti "prima-dopo" o con aree analoghe. Per attribuire correttamente gli esiti alla misura (e non alla sola variabilità meteo-climatica), è utile leggere le prestazioni in modo "normalizzato" rispetto alle condizioni dell'evento o della stagione (ad esempio confrontando periodi/anni con intensità comparabile, o usando indicatori per unità di evento). L'adozione di soglie, laddove possibile, consente di attivare revisioni puntuali (manutenzione, modifiche progettuali o misure complementari) e di documentare le condizioni per una replica efficace in altri contesti.

Conclusioni

Per l'ambiente costruito, l'adattamento può diventare un driver di qualità e innovazione se affrontato come un processo continuo che integra dati ad alta risoluzione, servizi climatici, cornici di rischio condivise, co-progettazione e monitoraggio degli esiti. L'obiettivo è rafforzare la capacità dei territori di anticipare, assorbire e trasformarsi, riducendo vulnerabilità e disuguaglianze e massimizzando co-benefici ambientali e sociali. In questa prospettiva, il contributo delle scienze del clima è soprattutto nel suggerire un metodo: ancorare la progettazione a soglie e livelli di servizio misurabili, per rendere confrontabili alternative e obiettivi; monitorare nel tempo gli esiti per apprendere e correggere, evitando interventi "una tantum" non verificati; e co-progettare per costruire soluzioni legittime e

programmes. In this framework, indicators and thresholds become requirements. They define expected performance, territorial priorities, criteria to choose between design options, and procedures to verify results over time. From an operational point of view, this means that the outputs of the chain (indicators, thresholds, priority maps, robustness criteria) are turned into implementing provisions as, for example, performance requirements in building regulations; criteria to choose solutions in tenders and guidelines; maintenance and management conditions as an integral part of design; and integration into civil protection plans and into green and water management plans. This procedural and "regulatory" link is essential to avoid keeping adaptation within knowledge-only studies. It is the step that makes alternatives comparable, assigns respon-

sibilities, and allows verification that measures work under real conditions.

Indicators, thresholds, and effectiveness: a measure to be improved

An adaptation measure is truly "operational" only if it is supported by a monitoring system that measures different aspects over time, including effectiveness, robustness, and replicability. This makes it possible to either correct or update the measure when, for example, climate conditions, land use, and social needs change. Therefore, indicators do not only describe the context, they verify whether the measure reaches its goals, with which side effects, and at what costs.

To make monitoring more effective, it is useful to combine sources and skills, including in-situ observations and local networks (also at neighbourhood scale), satellite data, archives of reports

and impacts, and climate products that help read results within ongoing weather variability and climate change. In this phase, climate science can support the definition of stable, comparable indicators (for example through normalisation) by reducing the risk of attributing to a measure any effects that are, instead, the result of year-to-year variability. In addition, structured collaboration with those who produce and interpret climate data helps update thresholds and baselines when land use, exposure, and vulnerability change, keeping coherence over time between design objectives and observed or expected climate conditions.

It is useful to combine different types of indicators, such as those for delivery, functioning, impact reduction, equity and use, co-benefits and side effects, costs and management, and

transferability. For example, for urban green areas, it is useful to assess over time—and make visible to all actors—the tree canopy cover achieved; the survival of trees under different climate conditions; soil water status; the reduction of surface and air temperature and heat-stress indices; increased use and time spent outdoors during hot hours; irrigation needs and maintenance costs. In the case of urban drainage, it is useful to assess, for example, infiltrated or retained volumes; reductions in peak flow and drainage time; the number of flood events reported or measured by sensors; the share of clogged elements and cleaning actions; and performance after intense events (recovery time). To make monitoring useful for decisions, it helps to define a pre-intervention baseline, an observation frequency, and, where possible, before-after com-

manutenibili, capaci di durare e adattarsi quando cambiano condizioni climatiche, uso degli spazi e bisogni sociali. In quest'ottica, una collaborazione più strutturata tra chi pianifica e progetta e chi si occupa di cambiamento climatico può rafforzare la qualità e la trasparenza delle scelte. Il passaggio dalla conoscenza all'azione beneficia in particolare di interazioni continuative, non episodiche: definizione congiunta degli obiettivi e delle soglie, scelta trasparente degli scenari e delle assunzioni, costruzione di indicatori interpretabili e confrontabili, e supporto allo sviluppo di stress test e soluzioni flessibili. Queste pratiche rendono più semplice replicare esperienze tra territori, documentare ciò che funziona e motivare scelte e investimenti anche in condizioni di incertezza, rafforzando la fiducia tra amministrazioni, professionisti e comunità.

REFERENCES

European Commission (2021), *Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*, COM(2021) 82 final. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52021DC0082>.

European Commission (2025), *EU Mission on Adaptation to Climate Change*. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f5bb6378-5ba7-11f0-a9d0-01aa75ed71a1>.

IPCC (2022), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.

parisons or comparisons with similar areas. To correctly attribute results to the measure (and not only to weather and climate variability), it is helpful to read performance in a “normalised” way with respect to event or seasonal conditions (for example by comparing periods/years with similar intensity, or using indicators per unit of event). Where possible, using thresholds allows targeted reviews (maintenance, design changes, or additional measures), and helps document the conditions for effective replication in other contexts.

Conclusions

For the built environment, adaptation can become a driver of quality and innovation if it is treated as a continuous process that combines high-resolution data, climate services, shared risk frameworks, co-design, and moni-

toring of outcomes. The goal is to strengthen the ability of territories to anticipate, absorb, and transform, reducing vulnerabilities and inequalities while maximising environmental and social co-benefits. In this view, the contribution of climate science is mainly methodological. Indeed, climate science anchors design to measurable thresholds and levels of service. It makes alternatives and goals comparable, and monitors outcomes over time to learn and correct, avoiding one-off actions that are not checked. It uses a co-design approach to build solutions that are legitimate and maintainable, able to last and adapt when climate conditions, land use, and social needs change.

In this perspective, a more structured collaboration between those who plan and design, and those who work on cli-

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC)*. Available at: <https://www.mase.gov.it/portale/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-pnacc>.

UNFCCC (2023). Decision 2/CMA.5: “Global goal on adaptation (UAE Framework for Global Climate Resilience)”, CMA 5 (COP28), Dubai, 2023, in: FCCC/PA/CMA/2023/16/Add.1. UN Climate Change (UNFCCC). Available at: <https://unfccc.int/documents/637073>.

mate change can strengthen the quality and transparency of choices.

The move from knowledge to action particularly benefits from continuous, not occasional, interactions, such as jointly defining objectives and thresholds; transparently selecting scenarios and assumptions; building indicators that are interpretable and comparable; and supporting the development of stress tests and flexible solutions. These practices make it easier to replicate experiences across territories, document what works, and justify choices and investments even under uncertainty, strengthening trust among administrations, professionals, and communities.