

Konstantina Vasilakopoulou¹, <https://orcid.org/0000-0002-9235-0782>

Qinghua Lv²,

Matthaios Santamouris³, <https://orcid.org/0000-0001-6076-3526>

¹ School of Property, Construction and Project Management, Post-Carbon Research Centre, Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT), Melbourne, Australia

² School of Science, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China

³ School of Built Environment, University of New South Wales (UNSW), Sydney, Australia

konstantina.vasilakopoulou@rmit.edu.au

linsa080@hbut.edu.cn

m.santamouris@unsw.edu.au

Abstract. Il surriscaldamento urbano ha un impatto rilevante sui settori energetico, sanitario, ambientale e finanziario. Sebbene i rischi diretti siano chiaramente percepiti, gli impatti multidimensionali più ampi sono raramente compresi o adeguatamente valutati da decisori politici, mercati e altri stakeholder. Ciò è imputabile principalmente alla rilevante carenza di dati statistici e sociali di natura primaria, nonché all'assenza di studi specialistici dedicati. Questo contributo mira a identificare i principali ostacoli a una corretta valutazione dei rischi più ampi associati al surriscaldamento urbano. Elabora un processo organico articolato in nove fasi distinte, volto a valutare, pianificare e affrontare in modo efficace le sfide poste dai cambiamenti climatici a livello regionale. Esamina, inoltre, le strategie e le politiche da adottare per promuovere uno sviluppo sostenibile e una crescita economica attraverso l'attuazione di interventi su larga scala finalizzati alla mitigazione e all'adattamento agli effetti delle ondate di calore.

Keywords: Surriscaldamento urbano; Mitigazione; Adattamento; Energia; Salute; Crescita Economica.

Introduzione

Il surriscaldamento urbano è un fenomeno climatico ampiamente documentato, caratterizzato dallo sviluppo di temperature ambientali più elevate nelle aree urbane densamente edificate rispetto alle regioni rurali circostanti. Tale disparità è riconducibile ai processi di urbanizzazione, ai modelli di uso del suolo, alle emissioni di calore di origine antropica e alla riduzione di aree vegetate e corpi idrici, in grado di contribuire al raffrescamento (Santamouris, 2015). Le elevate temperature urbane determinano un aumento significativo della domanda energetica per il raffrescamento degli edifici, innalzano i picchi

di carico elettrico e spesso rendono necessaria la realizzazione di ulteriori impianti di produzione energetica, con conseguente incremento dei costi di fornitura dell'elettricità. Inoltre, il surriscaldamento urbano riduce l'efficienza delle centrali termiche e nucleari, esercita una pressione rilevante sulle reti elettriche e contribuisce all'aumento delle concentrazioni di inquinanti nocivi, quali l'ozono troposferico (Santamouris, 2020).

Oltre agli impatti sulle infrastrutture e sui sistemi energetici, il surriscaldamento urbano comporta rilevanti implicazioni sociali e sanitarie. Esso colpisce in modo sproporzionato le popolazioni a basso reddito e vulnerabili, aumenta l'incidenza della violenza e determina un incremento della mortalità, della morbidità e dei disturbi di salute mentale associati all'esposizione al caldo. Sono state inoltre documentate perdite significative di produttività e riduzioni delle prestazioni cognitive, in particolare tra gli studenti (Santamouris, 2020). Un'analisi su larga scala dei dati climatici relativi al periodo 1983–2016, condotta su 13.115 città, ha mostrato che l'esposizione a condizioni termigrometriche estreme, corrispondenti a temperature di bulbo umido (*wet-bulb temperature*) superiori a 30 °C, è aumentata di quasi il 200% nel 46% delle città analizzate, interessando circa 1,7 miliardi di persone (Tuholske *et al.*, 2021).

Gli impatti del surriscaldamento urbano rappresentano pertanto una grave minaccia per le popolazioni urbane e costituiscono uno dei rischi più significativi per i gruppi sociali maggiormente esposti e vulnerabili, sia nei Paesi sviluppati sia in quelli in

RISKS AND URBAN OVERHEATING: FROM EVIDENCE TO INTERVENTION

Abstract. Urban overheating has a serious impact on the energy, health, environmental, and financial sectors. While the direct risks are clearly perceived, the broader multidimensional impacts are rarely understood or adequately assessed by decision-makers, markets, and other stakeholders. This is mainly due to the significant lack of primary statistical and social data, as well as the absence of specialised studies. This paper aims to identify the main obstacles to properly assessing the broader risks of urban overheating. It develops a comprehensive process comprising nine distinct phases to effectively evaluate, plan, and address the challenges of regional climate change. It also discusses strategies and policies to be adopted to promote sustainable development and economic growth through the implementation of large-scale heat mitigation and adaptation projects.

Keywords: Urban overheating; mitigation, adaptation, energy; health; economic growth.

Introduction

Urban overheating is a well-documented climatic phenomenon characterised by the development of higher ambient temperatures in densely built urban areas, compared to surrounding rural regions. This disparity arises from urbanisation, land-use patterns, anthropogenic heat emissions, and the reduction of natural sinks such as vegetation and water bodies (Santamouris, 2015). Elevated urban temperatures significantly increase cooling energy demand in buildings, raise peak electricity loads, and often necessitate the construction of additional power plants, thereby escalating the cost of electricity supply. Furthermore, overheating reduces the efficiency of ther-

mal and nuclear power plants, places serious strain on electricity grids, and contributes to elevated concentrations of harmful pollutants such as ground-level ozone (Santamouris, 2020).

Beyond infrastructure and energy systems, urban overheating has profound social and health implications. It disproportionately affects low-income and vulnerable populations, exacerbates incidences of human violence, and increases heat-related mortality, morbidity, and mental health challenges. Productivity losses and declines in cognitive performance, particularly among students, have also been documented (Vasilakopoulou, 2025). A large-scale analysis of climatic data between 1983 and 2016 from 13,115 cities revealed that exposure to wet-bulb temperatures above 30 °C has increased by nearly 200% in 46% of these

via di sviluppo (Santamouris e Kolokotsa, 2015). Gli effetti del fenomeno su energia, salute, ambiente ed economia sono stati ampiamente analizzati e quantificati in numerose città a livello globale (Haddad *et al.*, 2022; Santamouris *et al.*, 2020). Le proiezioni future delle condizioni climatiche urbane indicano un aumento sostanziale delle temperature ambientali, accompagnato da una crescita della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore, esponendo diversi miliardi di persone a livelli di rischio estremo (Cool Coalition UNEP, 2025).

Nonostante l'entità del problema, la percezione del rischio e gli approcci alla previsione, alla prevenzione e alla gestione del surriscaldamento urbano variano considerevolmente tra decisori politici, attori sociali e popolazione generale nelle diverse regioni del mondo. Questo articolo si propone di analizzare e chiarire le condizioni prevalenti nelle città globali in relazione a: previsione, percezione, prevenzione e gestione dei rischi associati al surriscaldamento urbano. In particolare, esamina gli approcci adottati, individua le principali criticità riscontrate e valuta l'efficacia complessiva delle metodologie applicate.

Percezione del rischio di surriscaldamento urbano

Gli strumenti che influenzano la percezione del rischio associato al surriscaldamento urbano differiscono sostanzialmente tra decisori politici, attori sociali e popolazione generale. Ciascun gruppo interpreta e risponde alle minacce climatiche attraverso prospettive distinte, influenzate dai rispettivi ruoli, dalle risorse disponibili e dalle esperienze vissute.

Per i decisori politici, la percezione del rischio dovrebbe essere basata su conoscenze scientifiche ed evidenze tecnologiche de-

rivare da studi dettagliati e specializzati. Una governance efficace richiede l'accesso sia a dati qualitativi sia a dati quantitativi che catturino:

- Entità del surriscaldamento: misurazioni precise delle anomalie di temperatura nelle aree urbane.
- Distribuzione spaziale e temporale: identificazione delle aree maggiormente surriscaldate e delle variazioni stagionali.
- Impatti relativi nei diversi settori: domanda energetica, grado ambientale, salute pubblica, produttività economica e resilienza globale.
- Impatti sociali attuali e futuri: effetti differenziati sui diversi gruppi sociali, con particolare enfasi sulle popolazioni vulnerabili e a basso reddito.
- Efficienza normativa: valutazione dei quadri regolatori esistenti, delle politiche e degli interventi, al fine di determinarne l'adeguatezza nella mitigazione dei rischi.

Informazioni complete consentono ai responsabili politici nei paesi sviluppati di apprendere dagli eventi passati e di progettare strategie basate su evidenze che bilancino le esigenze immediate con la resilienza a lungo termine. L'esperienza maturata in occasione di precedenti disastri di origine climatica rafforza la conoscenza istituzionale e contribuisce a migliorare la percezione del rischio, sia a livello pubblico sia governativo. Ad esempio, l'ondata di calore che ha colpito Parigi nel 2003 ha causato quasi 14.000 decessi, incidendo in modo sproporzionato sulle popolazioni a basso reddito. Questo evento ha contribuito a colmare parzialmente il divario tra previsione scientifica e consapevolezza pubblica, favorendo l'adozione di politiche e interventi più efficaci in materia di salute e caldo (Poumadère *et al.*, 2005). In

cities, impacting approximately 1.7 billion people (Tuholske *et al.*, 2021). The impacts of urban overheating pose a serious threat to urban populations, and are one of the most significant risks for disadvantaged groups in both developed and developing countries (Santamouris and Kolokotsa, 2015). Its effects on energy, health, the environment, and the economy have been extensively assessed and quantified across numerous cities worldwide (Haddad *et al.*, 2022; Santamouris *et al.*, 2020). Future projections of urban climatic conditions indicate a substantial rise in ambient temperatures, alongside increases in the frequency and intensity of heat waves, placing several billion people under extreme risk (Cool Coalition UNEP, 2025). Although the scale of the problem is immense, perceptions of risk and approaches to predict, prevent and

manage differ considerably among decision-makers, social stakeholders, and the general population across different regions of the world. This paper analyses and describes the conditions prevailing in global cities with respect to risk prediction, perception, prevention, and the management of risks associated with urban overheating. It examines the approaches adopted, identifies the principal challenges encountered, and evaluates the overall effectiveness of the methodologies applied.

Urban Overheating Risk Perception

The tools that shape the perception of risk associated with urban overheating differ substantially among decision-makers, social stakeholders, and the general population. Each group interprets and responds to climatic threats through distinct lenses, influenced by

their roles, resources, and lived experiences.

For decision-makers, risk perception should be grounded in scientific knowledge and technological evidence derived from detailed, specialised studies. Effective governance requires access to both qualitative and quantitative data that capture:

- Magnitude of overheating: precise measurements of temperature anomalies in urban areas.
- Spatial and temporal distribution: identification of hotspots and seasonal variations.
- Relative impacts across domains: energy demand, environmental degradation, public health, economic productivity, and global resilience.
- Current and projected societal impacts: differentiated effects on various social groups, with particular

emphasis on vulnerable and low-income populations.

- Regulatory efficiency: assessment of existing frameworks, policies, and interventions to determine their adequacy in mitigating risks.

Comprehensive information enables policymakers in developed countries to learn from past events, and to design evidence-based strategies that balance immediate needs with long-term resilience. Experience accumulated through previous climate-related disasters strengthens institutional knowledge, and improves both public and governmental risk perception. For example, the 2003 Paris heatwave resulted in nearly 14,000 deaths, disproportionately affecting low-income populations. This severe event helped partially bridge the gap between scientific prediction and public awareness, ultimately prompting more effective

molti Paesi in via di sviluppo, la mancanza di dati comparabili e di adeguate capacità analitiche limita la possibilità di formulare e attuare strategie di adattamento efficaci.

L'accesso a dati storici e informazioni dipende in larga misura dalla qualità dei sistemi di documentazione a livello nazionale o regionale. Ciò include la disponibilità di statistiche affidabili e dettagliate, il ricorso a competenze specialistiche e la realizzazione di studi settoriali volti a valutare l'entità e gli impatti del surriscaldamento. Sebbene tale documentazione sia spesso pienamente o parzialmente disponibile nei Paesi sviluppati, essa risulta quasi del tutto assente nei Paesi in via di sviluppo. Le principali cause comprendono infrastrutture sanitarie carenti, capacità di monitoraggio limitate e risorse insufficienti. Nei Paesi a più alto reddito, la popolazione tende a mostrare una maggiore resilienza agli impatti del cambiamento climatico grazie a condizioni economiche più favorevoli, a una più solida organizzazione del settore pubblico, a mercati assicurativi maggiormente sviluppati e all'accesso a tecnologie avanzate. Nei Paesi in via di sviluppo, i decessi legati al caldo sono sistematicamente sottostimati a causa dell'assenza di sistemi di registrazione medica adeguati e della formazione insufficiente del personale sanitario nell'identificare e registrare le effettive cause di morte (Chakraborty, 2024). L'attesa intensificazione del cambiamento climatico potrebbe ampliare ulteriormente il divario tra decessi riportati e reali, a meno che i sistemi di documentazione e statistica non vengano rafforzati. L'attesa intensificazione del cambiamento climatico potrebbe ampliare ulteriormente il divario tra i decessi riportati e quelli effettivi, qualora i sistemi di documentazione e di raccolta statistica non vengano adeguatamente rafforzati (Ritchie, 2024).

heat-health policies and interventions (Poumadère *et al.*, 2005). In contrast, many developing countries lack access to comparable data and analytical capacity, constraining their ability to formulate and implement robust adaptation strategies.

Access to historical data and information largely depends on the quality of national or regional documentation systems. This encompasses the availability of reliable and detailed statistics, expert consultation, and sectoral studies that assess the scale and impact of overheating. While such documentation is often fully or partially available in developed countries, it is almost entirely lacking in developing nations. The primary reasons include weak health infrastructure, limited monitoring capacity, and scarce resources. People in wealthier countries tend to be more resilient to the impacts of cli-

mate change because of higher income and savings, stronger public sector organisation, more developed insurance markets, and access to advanced technologies. Heat-related deaths in developing countries are systematically underreported due to the absence of robust medical reporting systems, and to the inadequate training of medical professionals to both identify and record heat-related deaths (Chakraborty, 2024). The expected intensification of climate change may further widen the gap between reported and actual deaths, unless documentation and statistical systems are strengthened (Ritchie, 2024).

Additionally, the information and data available on vulnerable and low-income populations in developing countries are often incomplete, inconsistent, and unreliable due to limited statistical resources, weak

Inoltre, nei Paesi in via di sviluppo le informazioni e i dati disponibili sulle popolazioni vulnerabili e a basso reddito sono spesso incompleti, incoerenti e poco affidabili, a causa della scarsità di risorse statistiche, di infrastrutture carenti e di vincoli istituzionali (World Bank, n.d.). L'assenza di dati affidabili rende incerta la comprensione delle caratteristiche e degli effetti degli eventi climatici estremi e limita l'azione efficace sia del settore pubblico sia di quello privato. I Paesi a basso reddito subiscono danni sproporzionatamente più elevati rispetto alle nazioni sviluppate: i disastri nelle regioni più povere causano un numero significativamente maggiore di decessi e producono perdite sociali ed economiche più durature. Infrastrutture limitate, sistemi sanitari fragili e ridotta capacità di adattamento accentuano ulteriormente la vulnerabilità, rendendo questi Paesi meno in grado di riprendersi dagli shock climatici. Dal 1960, pur a fronte di un numero simile di eventi estremi, i Paesi in via di sviluppo hanno registrato un numero di decessi per evento superiore di oltre sei volte rispetto ai Paesi a più alto reddito (Shilpi *et al.*, 2025).

Mentre il cambiamento climatico sta aggravando povertà e vulnerabilità nei Paesi in via di sviluppo e a basso reddito, la persistente carenza di dati affidabili ostacola in modo significativo la progettazione e l'attuazione di politiche e interventi efficaci di mitigazione e adattamento (Stanford University, 2025). Nei Paesi in via di sviluppo, inoltre, risultano spesso scarse anche le informazioni di base necessarie alla popolazione per valutare i rischi climatici: ad esempio, nell'Africa subsahariana sono disponibili solo 1,6 stazioni meteorologiche per ogni milione di abitanti, contro le 217 presenti negli Stati Uniti (Shilpi *et al.*, 2025).

infrastructure, and institutional constraints (World Bank, n.d.). Lack of reliable information generates ambiguity about the characteristics and the impact of extreme climate events, and paralyses the public and private sectors. Low-income countries experience disproportionately higher levels of damage from climate change, compared to developed nations. Disasters in poorer regions result in significantly more deaths, and cause longer-lasting social and economic losses. Limited infrastructure, weaker health systems, and reduced adaptive capacity exacerbate vulnerability, leaving these countries less able to recover from climate-related shocks. Since 1960, developed and developing countries have faced a similar number of disasters; however, developing countries experienced more than six times the number of

deaths per event, compared to wealthier countries (Shilpi *et al.*, 2025).

While climate change is exacerbating poverty and vulnerability in developing and low-income nations, the persistent lack of reliable data significantly hinders the design and implementation of effective mitigation and adaptation policies and interventions (Stanford University, 2025). Moreover, the information people need to assess climate risks is also scarce in developing countries. For example, the population in Sub-Saharan Africa has just 1.6 weather stations for every 1 million people, while the United States have 217 for every 1 million people (Shilpi *et al.*, 2025).

In addition to decision-makers and public managers, social stakeholders such as community leaders, advocacy groups, and NGOs contribute significantly to shaping the overall percep-

Oltre ai decisori politici e ai gestori pubblici, anche gli attori sociali - quali leader comunitari, gruppi di advocacy e organizzazioni non governative - contribuiscono in modo significativo a definire la percezione complessiva del rischio all'interno di una regione o di un paese. Il loro ruolo si concentra principalmente, sebbene non esclusivamente, sulla comprensione dei rischi affrontati dalle popolazioni a basso reddito e vulnerabili in relazione al surriscaldamento urbano. Tali attori operano spesso come portavoce dei gruppi socialmente svantaggiati, sollevando criticità, proponendo strategie di protezione, influenzando l'opinione pubblica e promuovendo il rafforzamento dell'equità sociale (Friesenecker *et al.*, 2025).

La percezione del rischio associata al surriscaldamento urbano e alla qualità ambientale varia in modo significativo tra le diverse classi economiche e i segmenti sociali. È ampiamente documentato che le popolazioni con basso status socioeconomico, così come altri gruppi vulnerabili, tendono a risiedere nelle aree urbane maggiormente esposte al surriscaldamento e all'inquinamento (Friesenecker *et al.*, 2025). Inoltre, la qualità delle abitazioni in cui vivono spesso non garantisce una protezione adeguata dal calore eccessivo, mentre le misure di adattamento disponibili, in particolare l'uso dell'aria condizionata, risultano limitate (De Cian *et al.*, 2025). Le proiezioni climatiche future indicano che la diffusione dell'aria condizionata tra le popolazioni a basso reddito e vulnerabili continuerà a rimanere contenuta, aumentando ulteriormente la loro esposizione al caldo estremo (Pavanello *et al.*, 2021). È infine importante sottolineare che la percezione di un rischio elevato da parte dei gruppi a più basso reddito fatica a emergere nello spazio pubbli-

co, poiché il loro accesso alle strutture di governance e ai canali mediatici è fortemente limitato.

Previsione e prevenzione del rischio di surriscaldamento urbano

Mentre la percezione del rischio associata al surriscaldamento urbano è spesso influenzata da informazioni generali e incomplete, da misurazioni limitate, da segnalazioni della popolazione e solo raramente da studi specializzati, la previsione e la prevenzione dei rischi di surriscaldamento devono basarsi su conoscenze scientifiche integrate, complete e di elevata qualità. Tali conoscenze dovrebbero derivare dall'impiego di strumenti scientifici di previsione in grado di valutare l'efficacia relativa delle politiche proposte nel ridurre sia l'esposizione sia la vulnerabilità.

La procedura e la metodologia complessiva di previsione e prevenzione del rischio possono articolarsi in nove passaggi, descritti di seguito.

Fase uno. Identificazione delle cause del surriscaldamento urbano

Il primo passo per le autorità competenti consiste nell'identificare le cause del surriscaldamento urbano. Le temperature elevate possono derivare da diverse fonti, tra cui l'advezione di calore da aree esterne alla città, le emissioni locali di calore di origine antropica, l'assenza di *cooling sinks* (ad esempio verde urbano o superfici evaporative) e l'eccessivo accumulo di calore in edifici e strutture urbane. Queste fonti presentano caratteristiche termiche, intensità e variabilità spaziale e temporale differenti e richiedono, di conseguenza, approcci di mitigazione

tion of risk within a region or country. Their role focuses primarily, though not exclusively, on understanding the risks faced by low-income and vulnerable populations in relation to urban overheating. These stakeholders often act as advocates for disadvantaged social groups by raising concerns, proposing protection strategies, influencing public opinion, and promoting the establishment of social equity (Friesenecker *et al.*, 2025).

The perception of risk related to urban overheating and environmental quality varies substantially across different economic classes and social segments. It is well documented that populations with low socioeconomic status, as well as other vulnerable groups, tend to reside in the most overheated and polluted parts of cities (Friesenecker *et al.*, 2025). Moreover, the quality of their housing often fails to provide

adequate protection against excessive heat, while adaptation measures, particularly the use of air conditioning, remain limited (De Cian *et al.*, 2025). Future climate projections indicate that the penetration of air conditioning among low-income and vulnerable populations will continue to be restricted, thereby intensifying their exposure to extreme heat (Pavanello *et al.*, 2021). Importantly, the perception of high risk among lower-income groups cannot be easily communicated, as their access to governance structures and media channels is severely constrained.

Urban Overheating Risk Prediction and Prevention

While the perception of risk related to urban overheating is often shaped by general and incomplete information, limited measurements, public

complaints, and rarely by specialised studies, the prediction and prevention of overheating risks must rely on integrated, complete and high-quality scientific knowledge. This knowledge should be derived from the use of scientific forecasting tools that evaluate the relative effectiveness of proposed policies in reducing both exposure and vulnerability. The overall risk prevention and prediction procedure and methodology may include nine steps as described below.

Step One: Identification of the Causes of Urban Overheating

The first step to be undertaken by the responsible authorities is identification of the causes of urban overheating. Elevated temperatures may arise from various sources, including the advection of heat from areas outside the city,

local anthropogenic heat emissions, the absence of cooling sinks such as urban greenery or evaporative bodies, and the excessive storage of heat within buildings and urban structures. These sources present distinct thermal characteristics, intensities and temporal and spatial variability, and the methodologies required to mitigate their effects are also different. Overheating sources can be identified by using specialised measurements and/or microscale and mesoscale climatic simulations, followed by a thorough analysis of the results.

Step Two: Identification of the Cooling Mechanisms

The second step in the prediction and prevention methodology is to identify the strength and characteristics of the cooling mechanisms operating within the city. Potential cooling mechanisms

specifici. L'identificazione delle fonti di surriscaldamento può essere condotta mediante misurazioni specialistiche e/o simulazioni climatiche a micro e mesoscala, seguite da un'analisi approfondita dei risultati.

Fase due. Identificazione dei meccanismi di raffrescamento

Il secondo passo della metodologia di previsione e prevenzione consiste nell'identificazione dell'intensità e delle caratteristiche dei meccanismi di raffrescamento che operano all'interno della città. Tra i principali meccanismi potenziali rientrano la brezza marina nelle aree costiere, l'advezione di aria più fresca proveniente da aree naturali limitrofe, quali foreste o laghi, nonché specifiche condizioni climatiche locali che si sviluppano all'interno e in prossimità dell'ambiente urbano. È fondamentale valutare e comprendere sia la variabilità spaziale sia quella temporale di tali meccanismi, al fine di determinarne l'efficacia nel mitigare il surriscaldamento urbano.

Fase tre. Valutazione degli impatti del surriscaldamento sulla società locale

Gli impatti del surriscaldamento locale su energia, salute, ambiente ed economia devono essere valutati in modo sistematico. Attualmente non esistono protocolli o quadri di riferimento universalmente accettati per la valutazione delle conseguenze complessive del surriscaldamento urbano. Tale lacuna riflette la notevole eterogeneità degli impatti, la diversità dei gruppi di popolazione interessati e la complessità degli input statistici richiesti per una valutazione esaustiva (Shilpi *et al.*, 2025). Tuttavia, sono state proposte diverse metodologie applicabili, purché siano disponibili dati di input adeguati.

include the sea breeze in coastal areas, the advection of cool air from neighbouring sinks such as forests or lakes, and specific climatic conditions occurring in and around the urban environment. It is essential to evaluate and understand both the spatial and temporal variability of these cooling sinks to assess their effectiveness in mitigating urban overheating.

Step Three: Assessment of the Impact of Overheating on the Local Society

The impacts of local overheating on energy, health, environmental quality, and the economy must be systematically assessed. At present, there are no universally accepted protocols or frameworks for evaluating the global consequences of overheating. This gap reflects the considerable diversity of impacts, the heterogeneity of affected population segments, and the com-

plexity of the detailed statistical inputs required for comprehensive evaluation (Shilpi *et al.*, 2025). Nevertheless, several methodologies have been proposed and can be implemented, provided that adequate input data are available. Importantly, any overall assessment must place particular emphasis on the disproportionate effects of overheating on low-income and vulnerable populations. Highlighting these impacts is essential for ensuring equity in climate adaptation strategies, guiding proactive planning, and mobilising resources to protect those most at risk.

Step Four: Establishing the Heat Balance

Following the identification of overheating sources and cooling sinks, together with an assessment of their strength and spatial-temporal vari-

Qualsiasi valutazione complessiva dovrebbe porre particolare enfasi sugli effetti sproporzionati del surriscaldamento sulle popolazioni a basso reddito e vulnerabili, così da garantire equità nelle strategie di adattamento climatico, orientare una pianificazione proattiva e mobilitare risorse a tutela dei gruppi maggiormente esposti.

Fase quattro. Determinazione del bilancio termico

Successivamente all'identificazione delle fonti di surriscaldamento e dei *cooling sinks* (elementi di raffrescamento), nonché alla valutazione della loro intensità e della variabilità spazio-temporale, il quarto passo consiste nella stima del bilancio termico delle principali zone climatiche urbane. Tale analisi consente di comprendere il peso relativo dei diversi fenomeni responsabili del surriscaldamento. Il bilancio termico dovrebbe essere determinato mediante strumenti avanzati di simulazione climatica, applicati alle condizioni climatiche prevalenti e considerando l'intero arco stagionale. Questo approccio permette di acquisire una comprensione dettagliata della variabilità spaziale e temporale sia dell'intensità sia delle caratteristiche del surriscaldamento locale all'interno delle diverse aree urbane.

Fase cinque. Identificazione delle potenziali strategie di mitigazione del calore

Una chiara comprensione delle cause del surriscaldamento, unitamente a una conoscenza accurata delle caratteristiche termiche qualitative e quantitative, costituisce la base per la preselezione di strategie di mitigazione implementabili a livello locale. Le strategie individuate devono essere coerenti con le

ability, the fourth step in the prediction and prevention procedure is to establish the heat balance for the principal climatic zones of the city in order to understand the relative importance of the various phenomena causing overheating. This balance should be determined using advanced climatic simulation tools, applied under prevailing climatic conditions, and across all seasons. Such an approach enables a comprehensive understanding of both spatial and temporal variability concerning the magnitude and the characteristics of local overheating within each urban zone.

Step Five: Identification of Potential Heat Mitigation Strategies

A clear understanding of the causes of overheating, together with precise knowledge of the qualitative and quantitative thermal characteristics, pro-

vides the foundation for pre-selecting mitigation strategies that can be locally implemented. The chosen strategies must align with the specific causes of overheating, and effectively reduce their intensity. For instance, when overheating results from excessive heat storage in urban buildings and open spaces, the application of reflective materials can reduce absorbed solar radiation and stored heat. In addition, solar control measures for open spaces may serve as efficient mitigation strategies. Conversely, when overheating is primarily driven by excessive anthropogenic heat generation, reflective materials may offer only limited benefits. In such cases, reducing anthropogenic heat emissions and enhancing urban ventilation are more appropriate and effective solutions.

specifiche cause del surriscaldamento e in grado di ridurre efficacemente l'intensità. Ad esempio, quando il surriscaldamento è riconducibile a un eccessivo accumulo di calore negli edifici e negli spazi aperti, l'impiego di materiali riflettenti può ridurre l'assorbimento della radiazione solare e il calore immagazzinato. Analogamente, misure di controllo solare negli spazi aperti possono risultare efficaci. Al contrario, quando il surriscaldamento è principalmente determinato da elevate emissioni di calore di origine antropica, i materiali riflettenti offrono benefici limitati; in tali casi, la riduzione delle emissioni e il miglioramento della ventilazione urbana rappresentano soluzioni più appropriate ed efficaci.

Fase sei. Quantificazione del potenziale di raffrescamento delle strategie selezionate

La capacità di raffrescamento ottenibile mediante le strategie di mitigazione selezionate dovrebbe essere valutata in modo rigoroso attraverso tecniche avanzate di simulazione climatica. Tali simulazioni devono considerare sia la variabilità spaziale sia quella temporale dell'efficacia degli interventi, in relazione alle diverse condizioni climatiche prevalenti. Inoltre, è opportuno analizzare in modo sistematico le possibili combinazioni delle strategie, poiché approcci integrati possono generare benefici di raffrescamento superiori rispetto a interventi isolati.

Fase sette. Selezione finale delle strategie di mitigazione da implementare

La selezione finale delle strategie di mitigazione e adattamento dovrebbe basarsi sui risultati quantitativi ottenuti nella fase precedente, integrati dalla valutazione di ulteriori fattori quali

i costi, la fattibilità operativa, i requisiti di manutenzione e la sostenibilità nel lungo periodo. Le strategie prescelte devono dimostrare non solo un potenziale di raffrescamento misurabile, ma anche risultare coerenti con le condizioni socio-economiche locali, garantendo praticabilità, accessibilità economica e capacità di essere mantenute nel tempo. In ultima analisi, la decisione dovrebbe contemperare l'efficacia tecnica con la sostenibilità economica e l'equità sociale, al fine di consentire l'attuazione di soluzioni solide e sensibili al contesto per il contrasto al surriscaldamento urbano.

Fase otto. Coinvolgimento di attori economici e sociali

Il coinvolgimento attivo dei principali attori economici e della società civile è essenziale nella progettazione e nell'attuazione di strategie di resilienza urbana e di interventi di riqualificazione. Il raggiungimento di un ampio consenso tra autorità pubbliche, attori economici e comunità locali rappresenta un prerequisito fondamentale per il successo delle iniziative volte a rafforzare la resilienza urbana. Gli attori economici dovrebbero essere adeguatamente preparati a contribuire ai piani di resilienza, incrementando il valore aggiunto locale degli interventi. Parallelamente, i cittadini possono essere incentivati ad adottare misure complementari di autoprotezione, rafforzando la resilienza collettiva. Un approccio integrato di questo tipo, che combina la mobilitazione degli attori istituzionali ed economici con l'empowerment degli individui, garantisce che le strategie di resilienza risultino non solo tecnicamente efficaci, ma anche socialmente radicate, economicamente sostenibili e ampiamente condivise.

Step Six: Quantification of the Cooling Potential of Selected Mitigation Strategies

The cooling potential of the pre-selected mitigation strategies should be rigorously quantified using detailed climatic simulation techniques. These simulations must account for both spatial and temporal variations in mitigation effectiveness under all prevailing climatic conditions. Furthermore, combinations of the selected strategies should be systematically considered and evaluated, as integrated approaches may yield greater cooling benefits than individual measures alone.

Step Seven: Final Selection of the Mitigation Strategies to be implemented

The final selection of mitigation and adaptation strategies should be based on the quantitative results obtained in Step Five, complemented by an evaluation

of additional influencing parameters. These include cost considerations, operational feasibility, maintenance requirements, and long-term sustainability. The strategies selected must not only demonstrate measurable cooling potential but also align with the socio-economic requirements of the city, ensuring that they are practical, affordable, and capable of being maintained over time. Ultimately, the decision should balance technical effectiveness with economic viability and social equity, thereby enabling the implementation of robust and context-sensitive solutions to urban overheating.

Step Eight: Enable the Market and Society Stakeholders

The active involvement of major market and societal stakeholders is essential for designing and implement-

ing urban resilience and retrofitting strategies. Achieving wide consensus and agreement among government authorities, market stakeholders, and the community is a prerequisite for the effective realisation of resilience initiatives. Market stakeholders should be adequately prepared to contribute to the resilience plan, thereby enhancing the local added value of the interventions. At the same time, individuals can be encouraged to design and adopt complementary self-protection measures, reinforcing collective resilience. This dual approach of mobilising institutional and market actors, while empowering individuals, ensures that resilience strategies are not only technically sound but also socially embedded, economically viable, and widely supported.

Step Nine: Evaluation of the Mitigation Strategy's Societal Impact Post-Implementation

The ability to design effective mitigation and adaptation strategies to address urban overheating is often hampered by the lack of reliable methods to measure and monitor their impacts. The effect of urban overheating on energy, health, environmental quality, and the economy after the implementation of mitigation strategies can be evaluated using a range of established methodologies (Kalkstein *et al.*, 2013; Santamouris and Fiorito, 2021; Santamouris and Osmond, 2020; Stone *et al.*, 2014). The repercussions on energy consumption, peak electricity demand, heat-related mortality and morbidity, pollutant concentrations, and the broader economy can be accurately assessed once detailed information on climatic conditions prior to

Fase nove. Valutazione degli impatti sociali delle strategie di mitigazione dopo l'implementazione

La progettazione di strategie efficaci di mitigazione e adattamento al surriscaldamento urbano è spesso ostacolata dalla mancanza di metodi affidabili per la misurazione e il monitoraggio dei loro impatti. La valutazione degli effetti del surriscaldamento urbano sui settori energetico, sanitario, ambientale ed economico, successivamente all'implementazione delle strategie di mitigazione, può essere condotta mediante diverse metodologie consolidate (Kalkstein *et al.*, 2013; Santamouris e Fiorito, 2021; Santamouris and Osmond, 2020; Stone *et al.*, 2014). Una volta disponibili dati dettagliati sulle condizioni climatiche precedenti e successive agli interventi, è possibile stimare con precisione gli effetti sui consumi energetici, sulla domanda elettrica di picco, sulla mortalità e morbilità legate al caldo, sulle concentrazioni di inquinanti e sull'economia nel suo complesso. Una conoscenza accurata del carico sociale imposto dal surriscaldamento urbano, insieme ai benefici potenziali degli interventi climatici, favorisce decisioni informate, rafforza la pianificazione proattiva, migliora la comprensione pubblica e mobilita gli attori finanziari a sostegno dei cambiamenti necessari.

Esempi applicativi della metodologia di previsione e prevenzione proposta sono riportati in Haddad *et al.* (2020), Haddad *et al.* (2024) e Haddad *et al.* (2020).

Gestione del rischio da surriscaldamento urbano

L'implementazione di un piano locale di riqualificazione adeguatamente progettato dovrebbe basarsi su un approccio olistico e integrato, in grado di raf-

and following the application of mitigation measures is available. Precise knowledge of the societal burden imposed by urban overheating, together with the potential benefits derived from climatic interventions, facilitates informed decision-making, strengthens proactive planning, enhances public understanding, and mobilises financial stakeholders to support the necessary changes.

Examples highlighting the proposed prediction and prevention methodology can be found in Haddad *et al.* (2020a), Haddad *et al.* (2024), e Haddad *et al.* (2020b).

Urban Overheating Risk Management

Implementing a well-designed local retrofitting plan should follow a holistic and integrated approach that

strengthens urban resilience. While climatic interventions can significantly improve local conditions and provide relief to citizens, they must be complemented by political, economic, and social measures. Together, these actions can establish a concrete and stable framework capable of delivering permanent protection to all social groups, with particular emphasis on low-income and vulnerable populations. Such an approach not only safeguards communities but also generates local added value, enhances public knowledge and capacity, and contributes to sustainable growth. By aligning technical interventions with broader societal measures, retrofitting plans can achieve long-term effectiveness, equity, and resilience.

Local income plays a decisive role in shaping the capacity of communities to cope with the impacts of climate

change. It is well established that wealthier societies can respond more effectively to extreme events than poorer communities (Shilpi *et al.*, 2025). Higher local government income enables the delivery of more effective collective services, provides targeted subsidies, implements advanced methods and tools, and strengthens markets through regulatory reforms. Moreover, increased income facilitates investment in proactive policies that enhance preparedness, early warning systems, protective infrastructure, and recovery mechanisms. Economic strength thus directly supports both institutional resilience and community-level adaptation, underscoring the importance of equitable development strategies that reduce vulnerability across all social segments.

At the household level, higher income allows the improvement of house quality, enhances personal climatic protection, and allows access to economic instruments such as insurance, which can significantly improve recovery conditions. Thus, income disparities play a critical role in shaping both collective and individual resilience, highlighting the need for equitable strategies that support vulnerable populations. Projects designed to counterbalance the impacts of urban overheating should foster sustainable and inclusive development. They must contribute to improving local financial conditions by alleviating the economic constraints faced by vulnerable populations, and by generating added value for the community. This can be achieved by carefully selecting systems, materials, and services that not only enhance environmental performance but also deliver high added value. Such choices

l'importanza di strategie di sviluppo eque in grado di ridurre la vulnerabilità in tutti i segmenti sociali.

A livello di nucleo familiare, un reddito più elevato consente il miglioramento della qualità abitativa, rafforza la protezione individuale dagli impatti climatici e permette l'accesso a strumenti finanziari, quali le assicurazioni, che possono migliorare in modo significativo le capacità di recupero. Di conseguenza, le disparità di reddito svolgono un ruolo cruciale nel determinare sia la resilienza collettiva sia quella individuale, evidenziando la necessità di strategie eque volte a sostenere le popolazioni più vulnerabili.

I progetti finalizzati a contrastare gli impatti del surriscaldamento urbano dovrebbero promuovere uno sviluppo sostenibile e inclusivo. Essi dovrebbero contribuire a migliorare le condizioni economiche locali, alleviare i vincoli finanziari affrontati dalle popolazioni vulnerabili e generare valore aggiunto per la comunità. Tali obiettivi possono essere perseguiti attraverso una selezione accurata di sistemi, materiali e servizi in grado non solo di migliorare le prestazioni ambientali, ma anche di offrire un elevato valore aggiunto. Le scelte progettuali dovrebbero privilegiare soluzioni capaci di stimolare le economie locali e di creare significative opportunità occupazionali, sia durante la fase di realizzazione sia nel lungo periodo, coinvolgendo e valorizzando efficacemente gli attori locali. Integrando benefici sociali ed economici con obiettivi ambientali, i progetti di mitigazione del surriscaldamento urbano possono così fungere da catalizzatori di resilienza, equità e crescita sostenibile.

Alcuni studi indicano che, entro la fine del secolo, quasi quattro quinti della resilienza all'aumento delle temperature ambientali deriveranno dalla crescita del PIL pro capite, mentre il restante

quinto sarà attribuibile alla conoscenza accumulata attraverso l'esposizione di lungo periodo (Carleton *et al.*, 2022). Per massimizzare tale resilienza, è necessario sviluppare meccanismi e strumenti in grado di assorbire, elaborare e tradurre l'esperienza maturata in seguito all'esposizione a condizioni climatiche estreme in strategie operative. Il surriscaldamento urbano dovrebbe pertanto essere affrontato come un rischio in progressiva intensificazione, continuo e ricorrente, anziché come una problematica secondaria. Riconoscerne la natura persistente è fondamentale per la definizione di politiche di adattamento efficaci e per garantire che le misure di resilienza rimangano robuste nel tempo.

La valutazione e la post-valutazione quantitativa dei progetti di mitigazione e resilienza sono fondamentali per comprendere l'efficacia relativa delle misure implementate e per ricavare evidenze utili a orientare miglioramenti futuri. La post-valutazione dovrebbe basarsi su metriche chiare e consolidate, in grado di consentire un monitoraggio sistematico e un confronto nel tempo.

Sebbene metriche universalmente accettate per la valutazione delle prestazioni dei progetti di mitigazione non siano ancora pienamente sviluppate né ampiamente adottate, è possibile definire e monitorare insieme di indicatori specificamente calibrati. Tali indicatori dovrebbero considerare:

- Efficacia ambientale: riduzione della temperatura ambientale durante le condizioni climatiche di picco, diminuzione dei gradi-giorno di raffrescamento, miglioramento dei livelli di comfort, riduzione della mortalità e della morbidità legate al caldo, diminuzione dei consumi energetici e riduzione delle concentrazioni di inquinanti, ecc.

should prioritise solutions that stimulate local economies, and create strong employment opportunities both during the implementation phase, and in the long term by effectively engaging and enabling local stakeholders. By integrating social and economic benefits with environmental objectives, urban overheating mitigation projects can serve as catalysts for resilience, equity, and sustainable growth.

Studies indicate that, by the end of the century, nearly four-fifths of resilience to increased ambient temperatures will result from growth in per capita GDP, while the remaining one-fifth will derive from knowledge accumulated through long-term exposure (Carleton *et al.*, 2022). To maximise this resilience, mechanisms and tools must be developed to absorb, process, and translate the experience gained from exposure to extreme climatic condi-

tions into actionable strategies. Urban overheating should, therefore, be addressed as an intensifying, continuous, and recurrent risk, rather than treated as a secondary concern. Recognising its persistent nature is essential for designing effective adaptation policies, and to ensure that resilience measures remain robust over time.

Assessment and quantitative post-evaluation of mitigation and resilience projects are essential for understanding the relative success of implemented measures, and for extracting insights that inform future improvements. Post-assessment should be guided by concrete, well-established metrics that enable systematic monitoring and comparison over time.

Although universally accepted metrics for evaluating the performance of mitigation projects have not yet been fully developed or widely adopted, tailored

sets of indicators can be defined and monitored. These indicators should capture:

- Environmental effectiveness: reduction of ambient temperature during peak climatic conditions, decrease in cooling degree days, improvement of comfort levels, reduction in heat-related mortality and morbidity, lowering of energy consumption, decrease of pollutant concentration, etc.
- Socio-economic impact: emphasis on benefits for low-income and vulnerable populations, including improved access to protective infrastructure and services, increase of income, generation of employment, etc.
- Long-term resilience outcomes: strengthened adaptive capacity, enhanced preparedness, and sustained equity in climate protection.

By integrating environmental, social, and economic dimensions, post-evaluation ensures that mitigation projects are not only technically sound but also socially equitable and economically viable, serving as a foundation for continuous improvement and sustainable growth.

Conclusions

Urban overheating is a major threat to urban populations. It affects numerous aspects of city life by increasing energy consumption, exacerbating health problems, degrading environmental quality, and placing additional stress on low-income and vulnerable communities.

The perception of risk associated with higher urban temperatures is evident to all those living under overheating conditions. However, given the wide range of impacts caused by urban over-

- Impatto socio-economico: benefici per le popolazioni a basso reddito e vulnerabili, inclusi il miglioramento dell'accesso a infrastrutture e servizi di protezione, l'aumento del reddito e la creazione di opportunità occupazionali, ecc.
- Esiti di resilienza nel lungo periodo: rafforzamento della capacità adattiva, miglioramento della preparazione e mantenimento dell'equità nella protezione climatica.

Integrando le dimensioni ambientale, sociale ed economica, la post-valutazione assicura che i progetti di mitigazione risultino non solo tecnicamente efficaci, ma anche socialmente equi ed economicamente sostenibili, costituendo una base solida per il miglioramento continuo e la crescita sostenibile.

Conclusioni

Il surriscaldamento urbano rappresenta una minaccia rilevante per le popolazioni urbane, incidendo su numerosi aspetti della vita cittadina: aumenta i consumi energetici, aggrava i problemi di salute, compromette la qualità ambientale ed esercita una pressione crescente sulle comunità a basso reddito e vulnerabili.

La percezione del rischio associata all'aumento delle temperature urbane è generalmente evidente per coloro che sono esposti a livelli elevati di stress termico. Tuttavia, considerando l'ampio spettro di impatti generati dal fenomeno, autorità e comunità sono raramente del tutto consapevoli dell'estensione complessiva delle minacce, sia in termini quantitativi sia qualitativi. Una corretta percezione del rischio richiede un'analisi approfondita degli effetti specifici del surriscaldamento urbano su energia, salute, ambienti ed economia. Nonostante nei Paesi industrializzati si registri un progressivo sviluppo di studi mirati, le co-

noscenze disponibili rimangono limitate nelle nazioni povere e in via di sviluppo. Questa carenza informativa ostacola o ritarda l'elaborazione di politiche, iniziative e strategie di pianificazione di lungo periodo, contribuendo ad amplificare la gravità del problema ed esponendo le popolazioni locali a rischi significativi.

Affrontare in modo efficace il rischio del surriscaldamento urbano richiede l'adozione di strategie a livello locale solide e ben strutturate, capaci di coinvolgere le amministrazioni, i decisori politici e gli attori rilevanti a livello territoriale. In questo contesto, il presente lavoro ha proposto un quadro metodologico articolato in nove fasi distinte. Tale approccio è già stato applicato con successo in numerosi progetti di mitigazione del calore a livello internazionale, dimostrando una costante efficacia nel conseguimento di risultati positivi.

La progettazione di interventi su larga scala volti a contrastare il surriscaldamento urbano dovrebbe pertanto adottare un approccio olistico, orientato al rafforzamento della resilienza al calore urbano. Oltre ai benefici climatici attesi, tali interventi dovrebbero contribuire ad accrescere il reddito regionale attraverso l'impiego di tecnologie, servizi e beni caratterizzati da un elevato valore aggiunto locale, promuovendo uno sviluppo sostenibile e favorendo la creazione di opportunità economiche e occupazionali durature.

REFERENCES

Carleton, T., Jina, A., Delgado, M., Greenstone, M., Houser, T., Hsiang, S., Hultgren, A., *et al.* (2022), "Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 137 No. 4, pp. 2037–2105, Available at: <https://doi.org/10.1093/qje/qjac020>.

heating, authorities and communities are often unaware of the full extent of the quantitative and qualitative threats it poses. An adequate perception of risk requires a thorough analysis of the specific impacts of overheating on the energy, health, environmental, and financial sectors. While relevant studies are gradually being conducted in developed countries, very little is known about these impacts in poorer and developing nations. The lack of knowledge and information is either hindering or delaying the development of policies, initiatives, and long-term planning, thereby exacerbating the magnitude of the problem, and placing local populations under serious threat. Addressing the risk of urban overheating requires a well-prepared local strategy that engages local administrations, decision-makers, and all relevant stakeholders. A comprehensive

plan consisting of nine distinct phases is proposed. This framework has already been successfully implemented in numerous heat mitigation projects worldwide, and has consistently delivered positive outcomes.

The design of large-scale projects aimed at addressing urban overheating should adopt a holistic approach that strengthens resilience to urban heat. Beyond the expected climatic benefits, such projects should also seek to enhance regional income by utilising technologies, services, and goods with high local added value. In doing so, they can promote sustainable development, while generating wealth and employment opportunities.

- Chakraborty, R. (2024), "Why India is failing to track heatstroke fatalities properly", *BMJ*, p. q1437. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.q1437>.
- De Cian, E., Falchetta, G., Pavanello, F., Romitti, Y. and Sue Wing, I. (2025), "The impact of air conditioning on residential electricity consumption across world countries", *Journal of Environmental Economics and Management*, Academic Press Inc., Vol. 131. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2025.103122>.
- Cool Coalition UNEP. (2025), *Global Cooling Watch 2025: The Free Degrees*, United Nations Environment Programme. Available at: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/48926>.
- Friesenecker, M., Schneider, A., Bügelmayr-Blaschek, M., Getzner, M., Hahn, C., Schneider, M., Seebauer, S., *et al.* (2025), "Socially equitable climate risk management of urban heat", *Npj Urban Sustainability*, Springer Nature, Vol. 5, n. 1. Available at: <https://doi.org/10.1038/s42949-025-00202-2>.
- Haddad, S., Barker, A., Yang, J., Kumar, D.I.M., Garshasbi, S., Paolini, R. and Santamouris, M. (2020a), "On the potential of building adaptation measures to counterbalance the impact of climatic change in the tropics", *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, Vol. 229. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110494>.
- Haddad, S., Paolini, R., Synnefa, A., De Torres, L., Prasad, D. and Santamouris, M. (2022), "Integrated assessment of the extreme climatic conditions, thermal performance, vulnerability, and well-being in low-income housing in the subtropical climate of Australia", *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, Vol. 272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112349>.
- Haddad, S., Paolini, R., Ulpiani, G., Synnefa, A., Hatvani-Kovacs, G., Garshasbi, S., Fox, J., *et al.* (2020b), "Holistic approach to assess co-benefits of local climate mitigation in a hot humid region of Australia", *Scientific Reports*, Nature Research, Vol. 10, n. 1. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71148-x>.
- Haddad, S., Zhang, W., Paolini, R., Gao, K., Altheeb, M., Al Mogirah, A., Bin Moammar, A., *et al.* (2024), "Quantifying the energy impact of heat mitigation technologies at the urban scale", *Nature Cities*, Vol. 1 No. 1, pp. 62-72. Available at: <https://doi.org/10.1038/s44284-023-00005-5>.
- Kalkstein, L.S., Sailor, D., Shickman, K., Sheridan, S. and Vanos, J. (2013), *Assessing the Health Impacts of Urban Heat Island Reduction Strategies in the District of Columbia*.
- Pavanello, F., De Cian, E., Davide, M., Mistry, M., Cruz, T., Bezerra, P., Jagu, D., *et al.* (2021), "Air-conditioning and the adaptation cooling deficit in emerging economies", *Nature Communications*, Nature Research, Vol. 12, n. 1. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26592-2>.
- Poumadère, M., Mays, C., Le Mer, S. and Blong, R. (2005), "The 2003 heat wave in France: Dangerous climate change here and now", *Risk Analysis*, December. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00694.x>.
- Ritchie, H. (2024), *How Many People Die from Extreme Temperatures, and How This Could Change in the Future: Part Two*.
- Santamouris, M. (2015), "Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions", *Science of the Total Environment*, Elsevier, Vol. 512-513, pp. 582-598. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060>.
- Santamouris, M. (2020), "Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change", *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, 15 January. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>.
- Santamouris, M. and Fiorito, F. (2021), "On the impact of modified urban albedo on ambient temperature and heat related mortality", *Solar Energy*, Elsevier Ltd, Vol. 216, pp. 493-507. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.031>.
- Santamouris, M. and Kolokotsa, D. (2015), "On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe", *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, Vol. 98, pp. 125-133. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.050>.
- Santamouris, M. and Osmond, P. (2020), "Increasing green infrastructure in cities: Impact on ambient temperature, air quality and heat-related mortality and morbidity", *Buildings*, MDPI AG, Vol. 10, n. 12, pp. 1-34. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings10120233>.
- Santamouris, M., Paolini, R., Haddad, S., Synnefa, A., Garshasbi, S., Hatvani-Kovacs, G., Gobakis, K., *et al.* (2020), "Heat mitigation technologies can improve sustainability in cities. An holistic experimental and numerical impact assessment of urban overheating and related heat mitigation strategies on energy consumption, indoor comfort, vulnerability and heat-related mortality and morbidity in cities", *Energy & Buildings*, Vol. 217, p. 110002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110>.
- Shilpi, F., Kahn, M.E. and Berg, C. (n.d.). *Adapting to a Changing Climate*. Stanford University, K.C. on G.D.N. (2025), "As climate change deepens poverty in low-income countries: A call for better data". Available at: <https://kingcenter.stanford.edu/news/climate-change-deepens-poverty-low-income-countries-call-better-data> (accessed 4 January 2026).
- Stone, B., Vargo, J., Liu, P., Habeeb, D., DeLucia, A., Trail, M., Hu, Y., *et al.* (2014), "Avoided heat-related mortality through climate adaptation strategies in three US cities", *PLoS ONE*, Public Library of Science, Vol. 9, n. 6. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100852>.
- Tuholske, C., Caylor, K., Funk, C. and Evans, T. (2021), "Global urban population exposure to extreme heat", *PNAS*, Vol. 118, n. 41.
- Vasilakopoulou, K., Santamouris, M. (2025), Cumulative exposure to urban heat can affect the learning capacity of students and penalize the vulnerable and low-income young population: A systematic review. *PLOS Clim* 4(7): e0000618.
- World Bank. (n.d.). "Poverty and Inequality". Available at: <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/themes/poverty-and-inequality.html> (accessed 2 January 2026).