

ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	10 April 2024
Accepted	19 April 2024
Published	30 June 2024

MITIGAZIONE DEL CLIMA E COMFORT UMANO

Uno strumento per la modellazione e simulazione di supporto alle decisioni

CLIMATE MITIGATION AND HUMAN COMFORT

A decision-support modeling and simulation tool

Roberta Zarcone, Federica Nava, Fabrizio Tucci

ABSTRACT

Le attività umane sono riconosciute come principali responsabili del riscaldamento globale con conseguenze quali la perdita di biodiversità e fenomeni climatici estremi, eventi che influenzano il benessere umano. Il presente studio propone un approccio metodologico per la simulazione numerica delle interazioni tra i fenomeni climatici, l'ambiente costruito e l'individuo, basandosi sull'ipotesi che comprendere a fondo tali connessioni consenta lo sviluppo di strategie di intervento più efficaci per la mitigazione del clima e il comfort umano. La metodologia viene applicata a tre casi pilota al fine di analizzare l'influenza dei diversi parametri dell'ambiente costruito urbano sullo stress fisiologico: il quartiere (ex borgata) del Quatticciolo a Roma in Italia, il quartiere del Westside San Antonio in Texas (USA) e il quartiere Shuangta Suzhou in Cina.

Human activities are recognised as primarily responsible for global warming, with consequences such as biodiversity loss and extreme weather phenomena that impact human well-being. This study proposes a methodological approach for numerical simulation of the interactions between climate phenomena, the built environment, and the individual, based on the assumption that thoroughly understanding these connections will enable the development of more effective intervention strategies for climate mitigation and human comfort. The methodology is applied to three pilot cases in order to analyse the influence of different parameters of the urban built environment on physiological stress: the Quatticciolo neighbourhood (former borough) in Rome (Italy), the Westside San Antonio neighbourhood in Texas (USA), and the Shuangta Suzhou neighbourhood in China.

KEYWORDS

benessere, comfort, salute, ambiente costruito, strumento di supporto alle decisioni

well-being, comfort, health, built environment, decision support tool

Roberta Zarcone, Engineer-Architect and PhD, is an Associate Professor in Architectural Sciences and Techniques. She is the co-Director of the Geometry Structure Architecture (GSA) and co-President of the Digital Matters Department at the École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Malaquais (France). Her main research fields include the study of constructions' environmental impact through the development of numerical analysis methods. E-mail: roberta.zarcone@paris-malaquais.archi.fr

Federica Nava, Architect, is a PhD candidate at the Department of Planning, Design, and Architecture Technology at the 'Sapienza' University of Rome (Italy). Her research focuses on environmental and sustainable architecture, particularly in applied bioclimatics to existing buildings. E-mail: federica.nava@uniroma1.it

Fabrizio Tucci is a Full Professor of Environmental Design at the 'Sapienza' University of Rome (Italy), where he is the Director of the Department of Planning, Design, Architecture Technology, Director of the Second-level Master's Degree in Environmental Technological Design, Coordinator of the Environmental Technological Design Curriculum of the PDTA Doctorate, and Scientific Referee of Flagship Project 2 – Rome Technopole, funded by PNRR Funds. He is also the Coordinator of the International Experts Group of the Green City Network. For 25 years, he has been the scientific manager of national and international projects and research on environmental sustainability, climate neutrality, energy efficiency-bioclimatic, and resource circularity. E-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it



Negli ultimi decenni le tecnologie dell'informazione e della comunicazione hanno rivoluzionato l'economia, l'industria e le società globali. La crisi Covid-19 e le crisi climatiche hanno accelerato queste trasformazioni, mettendo in discussione il ruolo dell'uomo e l'interazione con l'ambiente (Lewis and Maslin, 2018; Zarcone, 2021). Diverse ricerche indicano che le attività antropogeniche sull'ambiente sono tra le principali cause del riscaldamento globale (Abbass et alii, 2022), in particolare l'emissione di gas serra, con la conseguente perdita di biodiversità, il depauperamento delle risorse e gli eventi estremi, tra cui le ondate di calore e le isole urbane di calore (Magliocco and Oneto, 2023). Questi fenomeni a loro volta hanno un impatto sugli esseri umani, creando rischi per la salute (Piracha and Chaudhary, 2022), la sussistenza e la sicurezza alimentare (IPCC, 2023) mentre altri studi mostrano un forte legame tra il benessere umano e l'ambiente naturale, con effetti come la riduzione dello stress, il ripristino cognitivo e l'autoregolazione (Helliwell et alii, 2020).

In questo contesto, per affrontare appieno le implicazioni dell'Antropocene in architettura, è necessario un cambio di paradigma: gli edifici e gli spazi urbani devono intendersi come sistemi viventi (Olivieri, 2022) in cui l'innovazione e la sostenibilità si integrano per creare un nuovo modo di vivere nelle città (González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martin, 2023). La sfida strategica attuale richiede un intervento primario sul tessuto costruito esistente (Tucci et alii, 2022) fondato su un'analisi approfondita dei molteplici aspetti dell'ambiente urbano, riconoscendone la natura dinamica e in continua evoluzione (da Costa Meyer, 2016).

Il tessuto costruito svolge infatti un ruolo cruciale come interfaccia tra l'uomo e l'ambiente naturale, influenzando l'interazione tra i fattori esterni e il comfort individuale (Lucarelli et alii, 2020). Per comprendere appieno questa dinamica è cruciale adottare un approccio integrato e multi-scalare, che consideri le relazioni tra macro e micro-scala, dal livello urbano fino al dettaglio costruttivo (Conato and Frighi, 2020). La definizione dei parametri dell'ambiente costruito, che influenzano il microclima urbano e determinano fenomeni climatici estremi, costituisce quindi il punto di partenza nodale.

Diverse ricerche indicano che la morfologia urbana, la densità del costruito e il rapporto altezza-larghezza degli edifici influenzano le variabili climatiche, come la temperatura dell'aria, quella radiante e la velocità del vento nei canyon urbani (Muniz-Gaal et alii, 2020); inoltre il trattamento superficiale di strade ed edifici può contribuire all'effetto dell'isola di calore (Migliari et alii, 2023). Diversi studi evidenziano l'influenza della tipologia dell'involucro sulle temperature medie all'aperto e sulla domanda di energia degli edifici, sottolineando come una progettazione adeguata degli involucri possa avere un ruolo importante per mitigare le isole di calore urbano (Kandya and Mohan, 2018), ma risultano rari gli studi che mettono in evidenza l'influenza della composizione stratigrafica degli involucri sul comfort outdoor (Di Giuseppe, Pergolini and Stazi, 2017).

La vastità delle variabili da considerare e la complessità delle analisi che coinvolgono ambiti diversi, dalla fisica dell'edificio al benessere fisico e psicologico umano (Aghamolaei et alii, 2023), rendono difficile una comprensione approfondita dei fenomeni

e, di conseguenza, la definizione di misure adeguate e altamente impattanti per la mitigazione climatica. Considerando un approccio olistico a tale questione, la presente ricerca si concentra sulle interazioni del sistema Uomo-Edificio-Ambiente esterno, con l'obiettivo di evidenziare l'influenza dei parametri legati all'ambiente costruito sulle condizioni di comfort all'aperto.

In linea con gli obiettivi stabiliti dall'Agenda 2030 (UN, 2015) riguardanti la formulazione di strategie di rigenerazione urbana, il contributo presenta uno strumento numerico di supporto alla decisione per la simulazione dei microclimi urbani basato sulla modellazione fisica dei fenomeni climatici e per la valutazione del comfort individuale. L'ipotesi che guida questa ricerca si basa sull'idea che comprendere come gli aspetti morfo-costruttivi del tessuto urbano interagiscono con lo stress fisiologico umano sia essenziale per affrontare i fenomeni termici urbani attuali e fornire il supporto necessario per le decisioni degli stakeholders.

Workflow numerico per la valutazione dello stress nello spazio esterno |

Oggi esistono numerosi modelli numerici per simulare le interazioni tra il costruito e l'ambiente esterno, integrando dati rilevati in situ e approcci multi-scalari per risultati sempre più precisi. Anche se questi strumenti permettono di predire con estrema precisione il microclima urbano (Du et alii, 2022; Stavrakakis, Katsaprakakis and Damasiotis, 2021), ogni software presenta dei punti di forza e delle limitazioni da considerare (lunghi tempi di simulazioni, risultati di alcuni output sovrastimati, fenomeni simulati semplificati, ecc.).

Tra i software più comunemente utilizzati per la simulazione del microclima urbano, ENVI-met e Ladybug tools sono tra i più diffusi: Envi-met è uno strumento di simulazione basato su CFD che permette di simulare ambienti urbani complessi, tenendo conto di una vasta gamma di fattori, inclusi la distribuzione degli edifici, gli spazi verdi, i materiali di superficie e le condizioni atmosferiche; Ladybug Tools fornisce una suite di plugin per Grasshopper, un linguaggio di programmazione visuale per Rhino, che consente ai designer di condurre analisi ambientali e simulazioni per il progetto architettonico.

Ladybug, Honeybee, Dragonfly e Butterfly sono tutti componenti della suite Ladybug Tools per Grasshopper: Ladybug si occupa dell'analisi ambientale, inclusa quella dell'illuminazione naturale e della radiazione solare; Honeybee gestisce la simulazione energetica degli edifici, dai calcoli di carico termico alle valutazioni di sostenibilità energetica, Dragonfly è focalizzato sulla visualizzazione e l'analisi dei dati, mentre Butterfly si specializza nella fluidodinamica computazionale per simulazioni avanzate del flusso d'aria. La Tabella 1 mostra le principali funzionalità, i punti di forza e le limitazioni dei due software ENVI-met e Ladybug tools. Alcune ricerche dimostrano come sia necessario sviluppare nuovi metodi numerici in grado di integrare i diversi software e superare le limitazioni di ognuno (Perini et alii, 2017).

La scelta di utilizzare la suite di Ladybug tools si basa sulla volontà di realizzare delle simulazioni nello stesso ambiente di modellazione parametrica (RhinoCeros / Grasshopper), consentendo la valutazione simultanea di vari parametri e scale di analisi e il calcolo automatico degli effetti sui fenomeni

considerati in relazione alle variazioni dei diversi parametri di input (Fig. 1). L'analisi della letteratura permette di definire i parametri a forte potenziale di impatto nella definizione del microclima urbano: il rapporto tra l'altezza degli edifici e la larghezza delle strade (H/W); il trattamento superficiale delle strade-edifici; le tipologie di involucro degli edifici.

Questo studio propone lo sviluppo di uno strumento parametrico che permette di esaminare l'influenza dei diversi parametri dell'ambiente costruito sulla variazione dell'aumento delle temperature esterne sopra una soglia limite, fissata a 25 °C, collegandola al calcolo del comfort per quantificarlo e delineare delle misure di mitigazione efficaci. L'approccio metodologico si basa sullo sviluppo di un algoritmo¹ di analisi parametrico multicriterio e multi-scalare (Fig. 2).

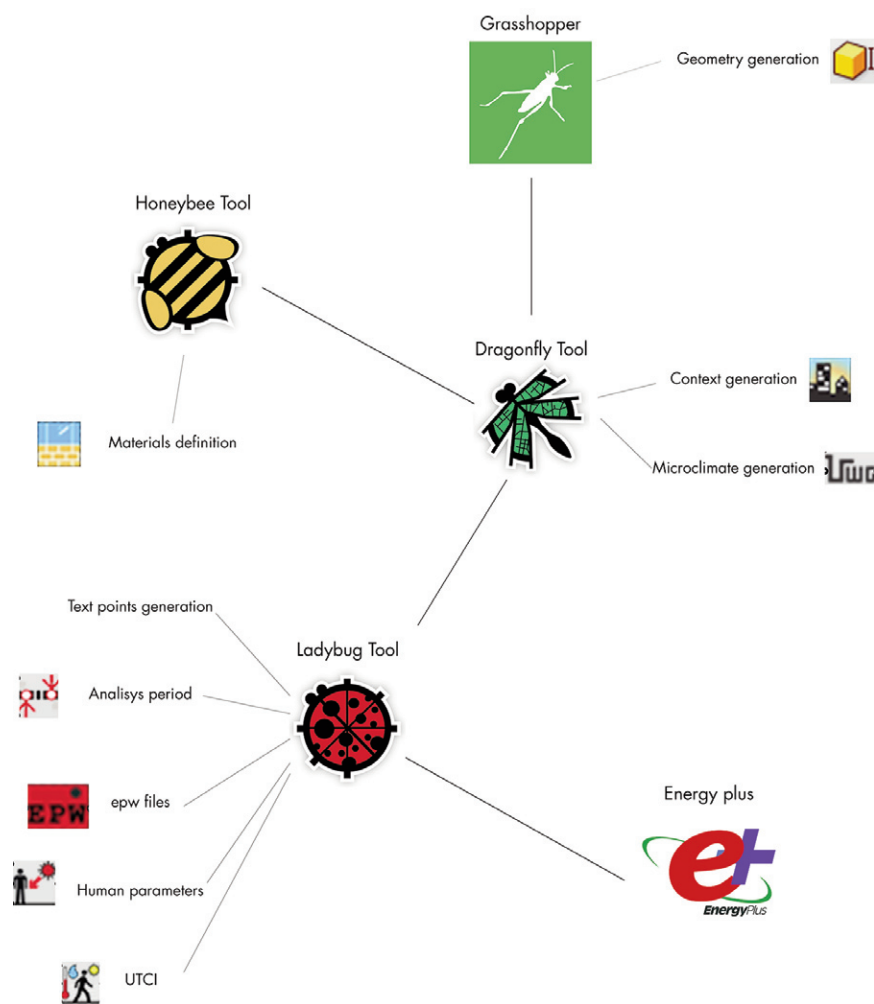
La prima tappa consiste nella costruzione parametrica del canyon urbano. Il "canyon urbano" è un concetto geometrico che rappresenta un modello spaziale delle città, utilizzato nella climatologia urbana per comprendere come gli spazi urbani influenzino le condizioni ambientali (Strømman-Andersen and Sattrup, 2011) e descritto come uno spazio stretto delimitato da due alte pareti verticali, ovvero gli edifici adiacenti. Le variabili nella modellazione parametrica consistono quindi nella distanza tra i due edifici (W) e l'altezza dal piano della strada (H); il rapporto altezza-larghezza permette di semplificare la complessità degli spazi urbani e delle forme edilizie.

La seconda tappa consiste nella definizione dei parametri di input che si possono classificare in due categorie: 1) i parametri morfo-costruttivi, propri della strada e degli edifici circostanti; 2) il sito di analisi e i relativi dati climatici. Per caratterizzare la strada si definiscono la riflettanza, la conduttività, lo spessore del materiale e l'eventuale presenza di vegetazione; per caratterizzare gli edifici circostanti, oltre alla destinazione d'uso e al numero di piani in funzione dell'altezza H, si definiscono il rapporto tra superfici opache e gli infissi e i materiali costituenti il pacchetto murario dell'involucro (Fig. 3).

Per simulare il microclima urbano si utilizza un generatore di condizioni meteorologiche urbane (Urban Weather Generator – UWG) integrato al programma parametrico (Bueno et alii, 2013). Si tratta di un modello utilizzato per calcolare le temperature dell'aria all'interno dei canyon urbani, basato su misurazioni provenienti da una stazione meteorologica situata in un'area aperta al di fuori di una città. I file climatici sono nel formato .epw (Energy-Plus / ESP)²; in questo modo è possibile simulare il microclima, che presenta in media temperature più elevate rispetto a quelle rilevate dalla stazione meteorologica.

Si definiscono quindi le condizioni della simulazione, ovvero l'altezza alla quale si desidera effettuare la simulazione e il periodo dell'anno. Al fine di analizzare il comfort umano, si utilizza l'indice Universal Thermal Climate Index (UTCI), per valutare il livello di stress termico sul corpo umano, considerando le variabili meteorologiche del microclima precedentemente simulato – la velocità del vento, l'umidità relativa, la temperatura dell'aria, la temperatura radiante e la radiazione solare – e il modello di termoregolazione integrato con un modello di abbigliamento (Błażejczyk et alii, 2010).

Per il calcolo dell'UTCI si definisce quindi la relazione tra la posizione dell'individuo e il cielo, al fi-



	ENVImet	Ladybug tools
Function	It is an holistic microclimate model system designed to simulate the surface-plant-air interaction in urban environment	It is a collection of computer applications that support environmental design
Simulation engine	CFD (Computational Fluid Dynamics Model)	Energyplus
Strengths	It takes into account the geometric characteristics of the hemisphere: each vector is weighted by a factor of the angle of incidence, relative to the surface	Free download
	Cool surfaces in shaded areas indirectly turn down the radiated surface temperatures and vice versa	Accurate characterization of the model
	It takes into account the interaction of vegetation with the microclimate	Possibility of parametrization
Weaknesses	Overestimate the global radiation	The amount of heat emitted and stored in materials is not considered
	Very long simulation time	It provides an estimate of evapotranspiration based on the ratio between vegetation cover and albedo (UWG)
	Approximate geometry model	

Fig. 1 | Map of Ladybug tools used and the main ones (credit: the Authors, 2024).

Tab.1 | Comparison of ENVImet and Ladybug (source: Ibrahim, Kershaw and Shepherd, 2020; Perini et alii, 2017; adapted by the Authors, 2024).

ne di calcolare la frazione di corpo direttamente esposto al sole per ogni ora del giorno e dell'anno; questo ci permette di ottenere la temperatura media radiante (Tmrt) necessaria al calcolo dell'indice di comfort (Fig. 4). In funzione dell'UTCI si calcola poi il livello di stress come riportato in Tabella 2 (Bröde et alii, 2012).

La sperimentazione su tre casi pilota | La metodologia viene applicata a tre casi pilota al fine di analizzare l'influenza dei diversi parametri dell'ambiente costruito urbano sullo stress umano: la borgata del Quarticciolo a Roma in Italia, il quartiere del Westside San Antonio in Texas (USA) e il quartiere Shuangta Suzhou in Cina. I casi studio, sebbene situati in contesti geografici molto diversi, si trovano nella stessa zona climatica del mondo (quella temperata calda) e affrontano problemi simili, legati all'aumento delle temperature e ai fenomeni estremi associati ai cambiamenti climatici in quelle fasce, in particolare quelli dell'accenuazione del fenomeno delle isole di calore urbano e dell'aumento della frequenza delle ondate di calore. Inoltre essi rappresentano esempi di quartieri consolidati, edificati agli inizi del '900, situati in contesti critici e caldi, e soggetti a degrado sociale e fisico, con, al contempo, una significativa conservazione del loro forte background storico e culturale.

Questo è importante per i successivi sviluppi della ricerca, in quanto, attraverso ulteriori analisi, è interessante capire quali strategie e quali sistemi d'intervento per la riqualificazione e la rigenerazione siano più appropriati al variare dei caratteri di contesto, in primis di quello culturale. Inoltre è interessante considerare che le tre aree presentano tre tipi di rapporti differenti tra le altezze degli edifici e l'ampiezza delle strade. In questo modo è possibile confrontare la risposta prestazionale al variare dei caratteri morfo-tipologici e tecnologico-costruttivi, a fronte di condizioni esterne che, seppur variando, ovviamente, per gli aspetti geografico-culturali, presentano forti assonanze dal punto vista climatico e sul piano delle categorie di problematiche climatico-ambientali ad essi connesse (Figg. 5-8).

A Roma le temperature durante l'anno variano dai 40 °C estivi ai -2 °C con umidità relativa tra 100% e 19%. A San Antonio le temperature rimangono sopra i 15 °C per la maggior parte dell'anno, con una umidità relativa che varia dal 100% al 9%. A Suzhou le temperature variano da 35 °C a -4 °C, con una umidità relativa variabile dal 100% al 26%.

La borgata romana del Quarticciolo, a Roma, a opera di Roberto Nicolini, viene realizzata a partire dal 1940 e completata tra gli anni Cinquanta e Sessanta (Accorsi and Chiavoni, 2022). L'altezza media degli edifici è di 15 metri e la larghezza si aggira intorno ai 19 metri, mentre le murature rilevate sono costituite da pezzame di tufo 'alla romana', listate con radi ricorsi di mattoni pieni estesi all'interno dello spessore.³

Il Westside, sito nella città di San Antonio, è uno storico quartiere caratterizzato dalla cultura Chicana⁴ che, nonostante si trovi in una zona centrale della città, presenta problematiche di degrado ambientale e sociale. L'area è caratterizzata da edilizia di tipo residenziale monofamiliare in legno, costituita da montanti lignei all'interno dei quali viene ospitato uno strato isolante. La morfologia consiste in edifici per lo più bassi, a un solo piano, la cui altezza media è 5 metri; la maggior parte delle strade ha un'ampiezza intorno agli 11 metri.

Il quartiere storico di Shuangta, sito nella città cinese di Suzhou, è stato costruito intorno al 1930. Il quartiere è costituito da edilizia di tipo popolare con edifici bassi a un solo piano e palazzine che arrivano fino a quattro piani. L'altezza media degli edifici è di 12 metri e la larghezza stradale varia da un minimo di 10 metri a un'ampiezza massima di 19 metri. L'involucro esterno è costituito da uno strato di mattoni forati e protetto da un fine spessore di intonaco interno ed esterno.⁵

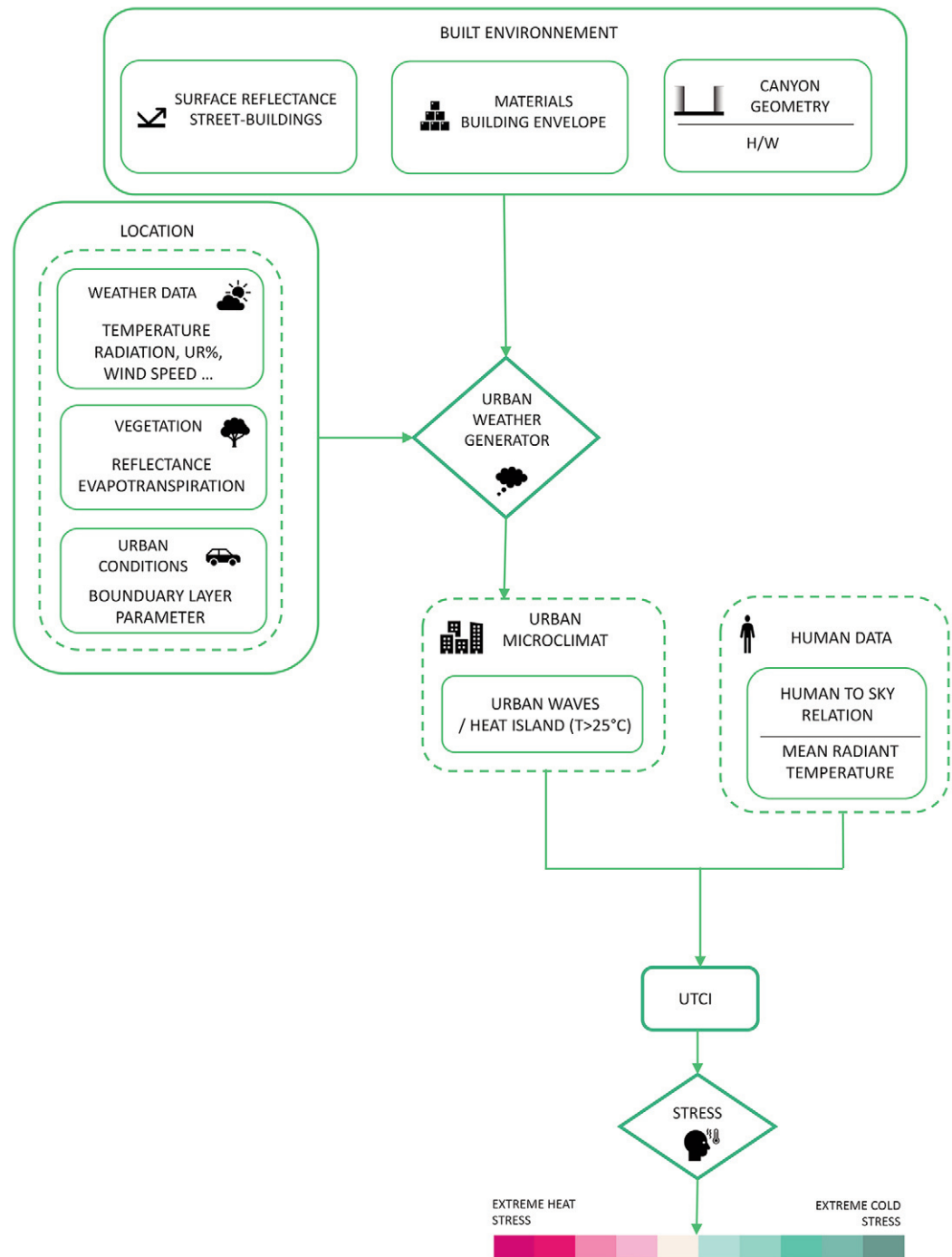
Risultati | I risultati delle simulazioni condotte sui tre casi di studio mostrano una stretta correlazione tra la densità urbana, i materiali utilizzati nella costruzione e il comfort umano. In questo contesto, i complessi legami tra clima, forma urbana e benessere umano sono stati analizzati attraverso lo studio dei modelli morfologici e costruttivi prevalenti nei diversi casi studio. Le condizioni microclimatiche sono state simulate per i tipi di canyon urbani ricorrenti dei casi studio e le tipologie di involucro caratteristiche del costruito esistente. È stato selezionato il periodo di analisi caratterizzato dal superamento di una temperatura limite di 25 °C, al fine di esaminare i periodi più probabili in cui possono verificarsi fenomeni termici estremi.

La Figura 9 mostra l'impatto della densità urbana, della morfologia urbana e della tipologia di involucro nella definizione del microclima urbano; infatti, l'artificializzazione del suolo e la presenza di materiali e superfici che inibiscono la dispersione del calore tramite irraggiamento termico favoriscono il maggior accumulo di calore e il conseguente aumento delle temperature in area urbana. Considerando che le isole di calore si verificano quando la temperatura della superficie e dell'atmosfera urbana è più alta di almeno tre gradi rispetto a quella di un'area rurale (Lai and Cheng, 2009), risulta interessante notare che, nel caso italiano, il fenomeno delle isole di calore risulta essere più rilevante rispetto agli altri due casi studio (con un gap di 5 °C in Italia, 1,5 °C in Texas e 3 °C in Cina): ciò è dovuto a una serie di fattori costruttivi e morfologici, che favoriscono l'aumento delle temperature, tra cui l'ampiezza delle strade, che in alcuni punti raggiunge anche i 40 metri, con la conseguente presenza di superfici asfaltate di colore scuro (riflettanza pari a 0,1).

È anche interessante notare che, quando la trasmittanza termica dell'involucro è più bassa, come nel caso americano, si verifica un disaccoppiamento tra le condizioni termiche interne ed esterne dell'edificio; questo porta a un aumento delle temperature superficiali esterne dell'involucro e, di conseguenza, a un lieve incremento della temperatura dell'aria esterna circostante.

La seconda tappa della metodologia ha l'obiettivo di mettere in relazione i fenomeni termici estremi con il comfort termico. Si analizzano le giornate più calde nei tre casi studio: il 25 agosto a Roma con picchi di 40 °C e umidità relativa del 24%; il 19 giugno a San Antonio, con temperature che raggiungono i 40 °C con umidità relativa del 26%; a Suzhou la giornata più calda è il 13 agosto, con temperature che raggiungono i 35,5 °C e umidità relativa del 54%.

Per le giornate più calde selezionate si analizza la radiazione solare diretta e le ore di sole per i tre rapporti H/W nei tre siti. L'orientamento scelto è quello Nord-Sud: nel quartiere Quarticcio di Roma e nel quartiere Shuangta di Suzhou si può no-



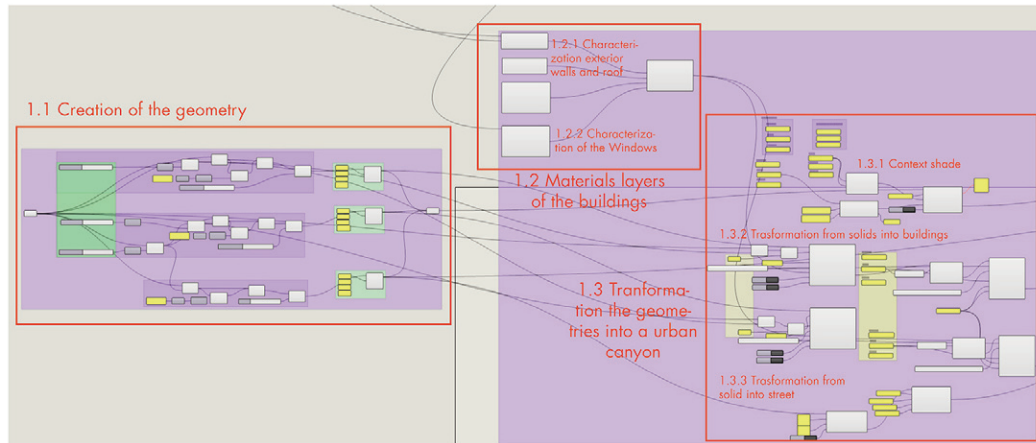
Parameters considered			Extreme phenomena
Human factors			
		Metabolic activity	
		Clothing insulation	
		Clothing surface factor	
		Convection heat transfer coefficient	
		Human body irradiation	
Enviroment factors	Built environment	Materials	
		Albedo	
		Roughness	
		Emissivity	
		Conductibility	
		Permeability	
		Morphology	
	Construction detail		
		Building	
		Urban	
	Site		
		Material thickness	
		Form of the building	
		H/L	
		Effective air temperature	
		Wind speed	
		Relative humidity	
		Mean radiant temperature	



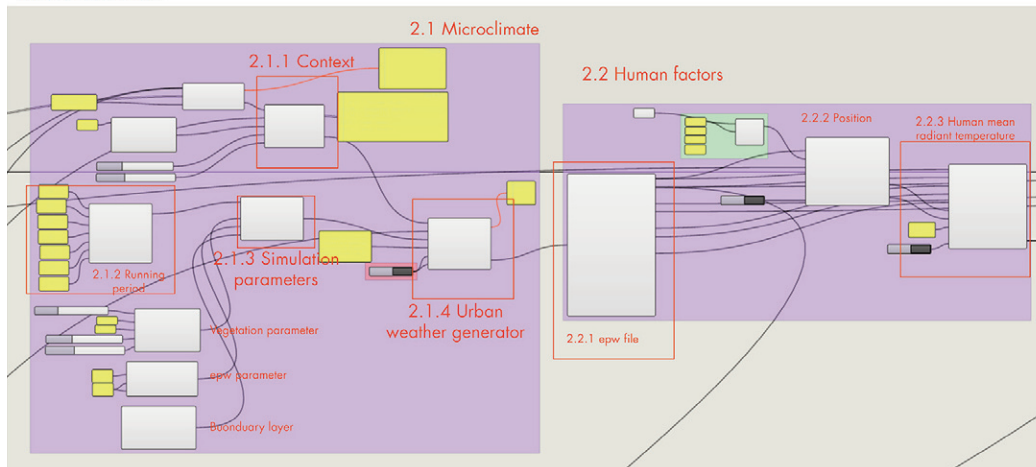
Fig. 2 | The proposed algorithm's workflow with the definition of inputs and outputs (credit: the Authors, 2024).

Fig. 3 | Parameters considered in the simulation that affect mitigating extreme climate phenomena due to rising temperatures (credit: the Authors, 2024).

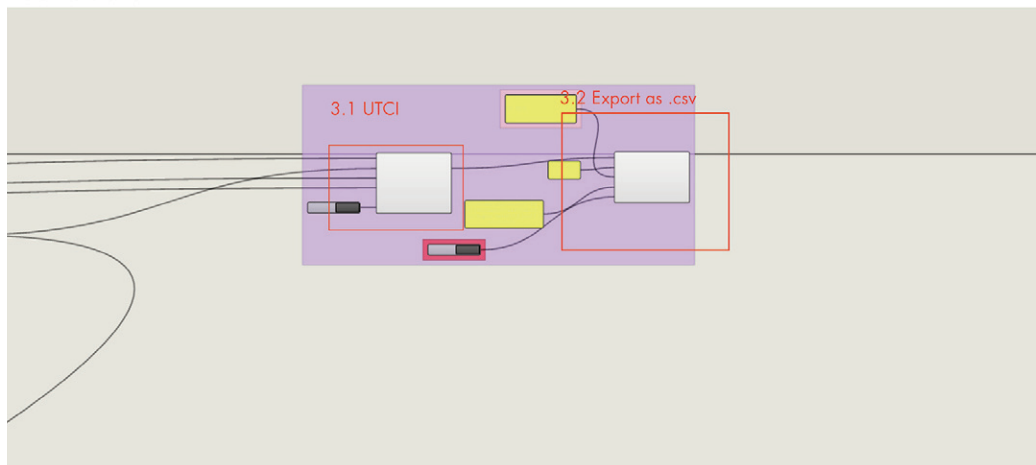
PHASE 1:
- CREATION OF GEOMETRY
- CREATION OF THE CONTEXT



PHASE 2:
- GENERATION OF THE MICROCLIMATE (URBAN WEATHER GENERATOR)
- HUMAN FACTORS



PHASE 3
- OUTPUT: UTCI



tare che le ore di sole sono ridotte dall'ombra portata dagli edifici circostanti, mentre a San Antonio le ore di sole sono nettamente superiori così come la radiazione solare diretta a causa della ridotta altezza degli edifici (Figg. 10-12).

Infine si calcola la temperatura equivalente che rappresenta la misura della risposta fisiologica umana all'ambiente termico (indice UTCI). I risultati dimostrano che nel caso americano l'intervallo di ore in cui si ha stress termico 'estremo' è superiore agli altri due casi studio (Fig. 13). La causa è legata a un rapporto H/W molto basso, pari a 0,5, e alla conseguente assenza di ombra portata dagli edifici; le facciate e le strade sono quindi esposte alla radiazione solare diretta per più ore del giorno. In generale, nel giorno più caldo, per i tre casi studio l'esposizione allo stress termico umano classificato 'forte', 'molto forte' o 'estremo' è di 9 ore al giorno. I risultati confermano il ruolo cruciale dell'esposizione alla radiazione solare: i pedoni assorbono energia dalle superfici circostanti e dall'esposizione diretta al sole.

La Figura 14 mostra la correlazione tra l'impatto della riflettanza del sistema involucri / strada e il comfort umano nei tre contesti climatici. Sono stati analizzati tre valori di riflettanza differenti: 0,2 per un colore molto scuro; 0,5 per una superficie mediamente riflettente; 0,8 per un 'materiale freddo'. I risultati di indice UTCI dimostrano che la temperatura media generalmente diminuisce e quindi lo stress termico generalmente è inferiore per valori di riflettanza più alti e questa tendenza è rilevabile in tutte e tre le zone climatiche; questo è particolarmente vero per l'area italiana, dove la differenza di UTCI tra le riflettività estreme è di circa 1 °C.

I risultati permettono di evidenziare come l'aumento dello stress termico esterno sia influenzato dalle combinazioni dei seguenti fattori: valori di H/W più bassi, superfici di involucri e strade con bassa riflettanza solare e involucri altamente isolati. Di conseguenza le strategie volte ad aumentare l'ombreggiatura e l'utilizzo di involucri a bassa riflettanza, preferibilmente di colore chiaro, potrebbero dimostrarsi delle misure chiave per garantire un elevato livello di comfort termico all'aperto.

Conclusioni | Il contributo illustra un approccio metodologico basato sullo sviluppo di uno strumento numerico per la modellazione fisica dei fenomeni microclimatici urbani e la valutazione del comfort individuale all'aperto, analizzando le possibili interazioni tra i diversi livelli e scale di analisi. La capacità di esaminare le interazioni fisiche del sistema Uomo-Edificio-Ambiente esterno consente di definire un quadro conoscitivo approfondito che diventa la base progettuale per la definizione degli interventi finalizzati alla mitigazione climatica. In questo contesto si evidenzia il profilo originale dell'approccio metodologico basato sull'interoperabilità tra aspetti morfo-costruttivi e di comfort umano.

L'utilizzo della simulazione e della modellazione può favorire la definizione di strategie tecnologiche adeguate a migliorare il comfort urbano al-

Fig. 4 | The three phases of the workflow: Phase 1 – Creating the geometry and context; Phase 2 – Creating the microclimate and defining the human parameters; Phase 3 – Calculating the UTCI output (credit: the Authors, 2024).

Tab. 2 | Graph showing physiological stress as a function of UTCI (credit: the Authors, 2024).

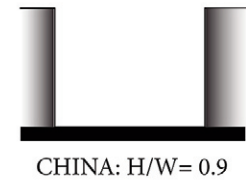
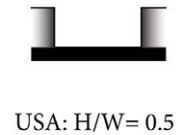
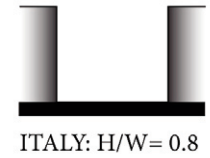
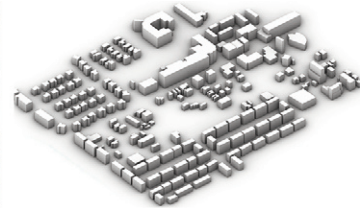
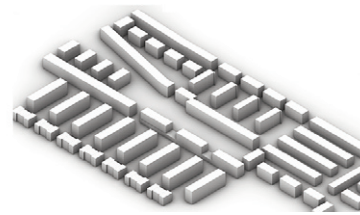
Physiological Stress		Range (°C UTCI)
extreme heat stress	> +46	
very strong heat stress	+38 to +46	
strong heat stress	+32 to +38	
moderate heat stress	+26 to +32	
no thermal stress	+9 to +26	
slight cold stress	0 to +9	
moderate cold stress	-13 to 0	
strong cold stress	-27 to -13	
very strong cold stress	-40 to -27	
extreme cold stress	< -40	

l'aperto e a mitigare le cause del cambiamento climatico dell'ambiente costruito. In questo contesto il modello numerico proposto si configura come uno strumento di supporto decisionale per tecnici, Amministrazioni pubbliche e ricercatori nel settore, facilitando l'analisi, la comprensione e la progettazione tecnologica innovativa in contesti urbani esistenti; inoltre tale approccio è in linea con gli obiettivi del NextGenerationEU⁶ e del PNRR nazionale (MIMIT, 2023).

La metodologia basata su uno strumento parametrico permette la sua replicabilità a diversi contesti urbani. Attualmente l'algoritmo proposto si focalizza sull'analisi dei fenomeni termici estremi; tuttavia l'integrazione di ulteriori parametri e di dati di input meteorologici rilevati nel tempo potrebbe consentire di esaminare più approfonditamente le interazioni fisiche tra individui, edifici e ambiente durante altri fenomeni quali le ondate di calore. Una futura implementazione numerica permetterà di sperimentare varie strategie di intervento tecnologico-ambientale, come l'installazione di facciate vegetali o sistemi di protezione solare, e di valutare simultaneamente i loro effetti sul benessere fisico all'aperto. Infine un'ulteriore linea di ricerca si concentra sull'analisi contestuale dei consumi energetici degli edifici e del comfort indoor al fine di correlare le condizioni ambientali esterne con quelle interne.

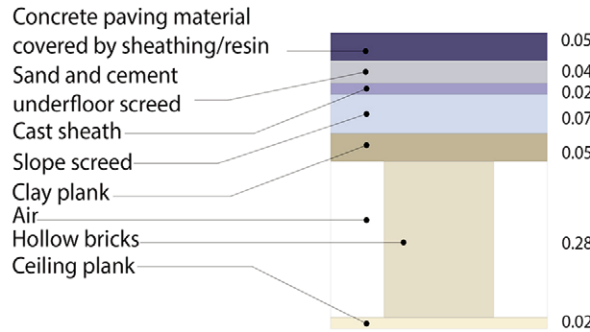
Il settore edilizio è oggi al centro di una transizione profonda energetica e socioeconomica finalizzata alla riduzione delle emissioni che si manifesta chiaramente nel passaggio da un approccio del tipo 'design of things' a uno 'design of cycles', ridefinendo l'idea di circolarità che riguarda la programmazione delle politiche nazionali e internazionali a supporto della rigenerazione di aree urbane. Da questo punto di vista la ricerca consente una conoscenza più approfondita delle interazioni tra uomo, edificio e ambiente al fine di sviluppare strategie d'intervento e scenari di rigenerazione: un tale approccio all'innovazione, interpretato come processo per il benessere umano e per la mitigazione climatica, cerca di identificare nell'ambiente costruito le origini di fenomeni, modelli e processi innovativi per un nuovo modo sostenibile di costruire.

Information and communication technologies have revolutionised the global economy, industry, and society in recent decades. The Covid-19 and climate crises have accelerated these transformations, challenging the role of humans and their interaction with the environment (Lewis and Maslin, 2018; Zarcone, 2021). Several types of research indicate that anthropogenic activities on the environment are among the leading causes of global warming (Abbass et alii, 2022), particularly the emission of greenhouse gases, resulting in biodiversity loss, resource depletion, and extreme events, including heat waves and urban heat islands (Maggiocco and Oneto, 2023). These phenomena, in turn, impact humans, creating health risks (Piracha and Chaudhary, 2022), livelihoods and food security (IPCC, 2023). Other studies show a strong link between human well-being and the natural environment, with effects such as stress reduction, cognitive restoration, and self-regulation (Helliwell et alii, 2020).



ITALY- ROOF

U = 2,1 W/m²K



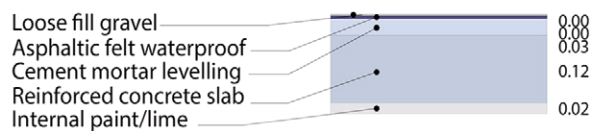
USA - ROOF

U = 2,9 W/m²K



CHINA - ROOF

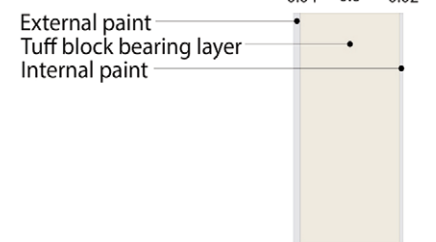
U = 2,4 W/m²K



ITALY - ENVELOPE

U = 1 W/m²K

Reflectance = 0.5



USA - ENVELOPE

U = 0,3 W/m²K

Reflectance = 0.6



CHINA - ENVELOPE

U = 1,9 W/m²K

Reflectance = 0.8

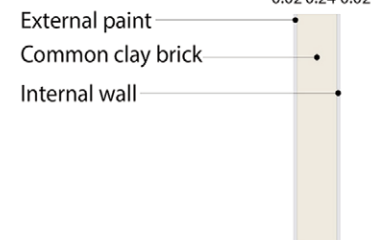


Fig. 5 | Quarticciolo in Rome, Italy: model elaboration (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Westside in San Antonio, Texas; model elaboration (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Shuangta in Suzhou (China): model elaboration (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | Stratigraphies and characteristics of building envelope types in the three pilot cases analysed: the Quarticciolo, the Westside, and the Shuangta (credit: the Authors, 2024).

In this context, to fully address the implications of the Anthropocene in architecture, a paradigm shift is required: buildings and urban spaces must be understood as living systems (Olivieri, 2022) in which innovation and sustainability are integrated to create a new way of living in cities (González-Campaña, Lafaurie-Debany and Rabazo Martín, 2023). The current strategic challenge calls for primary intervention in the existing built stock (Tucci et alii, 2022) based on an in-depth analysis of the multiple aspects of the urban environment, recognising its dynamic and evolving nature (da Costa Meyer, 2016).

Indeed, the built stock plays a crucial role as an interface between humans and the natural environment, influencing the interaction between external factors and individual comfort (Lucarelli et alii, 2020). To fully understand this dynamic, it is crucial to adopt an integrated, multi-scalar approach that considers the relationships between macro- and micro-scale, from the urban level down to the building detail (Conato and Frighi, 2020). The nodal starting point is to define the parameters of the built environment, which influence the urban microclimate and determine extreme climatic phenomena.

Several types of research indicate that urban morphology, building density, and the height-to-width ratio of buildings influence climate variables, such as air temperature, radiant temperature, and wind speed in urban canyons (Muniz-Gäal et alii, 2020). In addition, the surface treatment of streets and buildings can contribute to the heat island effect (Migliari et alii, 2023); on the other hand, several studies highlight the influence of envelope type on average outdoor temperatures and building energy demand, emphasising that appropriate envelope design can play an important role in mitigating urban heat islands (Kandya and Mohan, 2018). However, studies highlighting the influence of envelope stratigraphic composition on outdoor comfort are rarer (Di Giuseppe, Pergolini and Stazi, 2017).

The vastness of the variables to be considered and the complexity of analyses involving different domains, from building physics to human physical and psychological well-being (Aghamolaei et alii, 2023), make it difficult to gain a thorough understanding of the phenomena and, consequently, to define appropriate and highly impactful measures for climate mitigation. Considering a holistic approach to this issue, the present research focuses on the interactions of the Human-Building-Outdoor Environment system, with the aim of highlighting the influence of parameters related to the built environment on outdoor comfort conditions.

In line with the goals set by Agenda 2030 (UN, 2015) regarding the formulation of urban regeneration strategies, the paper presents a numerical decision-support tool for the simulation of urban microclimates based on the physical modeling of climatic phenomena and the assessment of individual comfort. The hypothesis guiding this research is based on the idea that understanding how morpho-constructive aspects of the urban fabric interact with human physiological stress is essential to address current urban thermal phenomena and provide the necessary decision support for stakeholders.

Numerical workflow for stress assessment in outdoor space | Today, numerous numerical models simulate the interactions between the built and

outdoor environment, integrating data collected in situ and multi-scalar approaches for increasingly accurate results. Although these tools make it possible to predict urban microclimate with high accuracy (Du et alii, 2022; Stavrakakis, Katsaprakakis and Damasiotis, 2021), each software has strengths and limitations to consider (long simulation times, results of some outputs overestimated, simplified simulated phenomena, etc.).

Among the most commonly used software for urban microclimate simulation are ENVI-met and Ladybug tools. ENVI-met is a CFD-based simulation tool for simulating complex urban environments, considering a wide range of factors, including building distribution, green spaces, surface materials, and atmospheric conditions. Ladybug Tools provides a suite of plugins for Grasshopper, a visual programming language for Rhino, that enables designers to conduct environmental analysis and simulations for architectural design.

Ladybug, Honeybee, Dragonfly and Butterfly are all components of the Ladybug Tools suite for Grasshopper: Ladybug handles environmental analysis, including that of natural lighting and solar radiation; Honeybee handles building energy simulation, from heat load calculations to energy sustainability assessments; Dragonfly focuses on data visualisation and analysis; and Butterfly specialises in computational fluid dynamics for advanced airflow simulations. Table 1 shows the main features, strengths and limitations of the two software ENVI-met and Ladybug tools. Some research indicates a need to develop new numerical methods that can integrate the different software and overcome the limitations of each (Perini et alii, 2017).

The decision to use the Ladybug tools suite is based on the desire to carry out simulations in the same parametric modeling environment (Rhinoceeros / Grasshopper), allowing various parameters and scales of analysis to be considered simultaneously and the effects on the considered phenomena to be calculated automatically in relation to changes in the different input parameters (Fig. 1). The analysis of the literature allows defining the parameters with strong potential for impact in defining urban microclimate: the ratio of building height to street width (H/W); street-building surface treatment; and building envelope types.

This study proposes the development of a parametric tool to examine the influence of different parameters of the built environment on the variation of the increase in outdoor temperatures above a threshold limit, set at 25 °C, linking it to the calculation of comfort to quantify it and outline effective mitigation measures. The methodological approach is based on developing a multicriteria, multi-scalar parametric analysis algorithm¹ (Fig. 2).

The first step is the parametric construction of the urban canyon. The 'urban canyon' is a geometric concept that represents a spatial model of cities, used in urban climatology to understand how urban spaces influence environmental conditions (Strømman-Andersen and Sattrup, 2011), and described as a narrow space bounded by two tall vertical walls, i.e., adjacent buildings. Thus, the variables in parametric modeling consist of the distance between the two buildings (W) and the height from the street level (H); the height-to-width ratio allows the complexity of urban spaces and building forms to be simplified. The second step is to define the input parameters, which can be classified into two cate-

gories: 1) the morpho-constructive parameters, peculiar to the road and surrounding buildings; and 2) the analysis site and related climatic data. To characterise the street, reflectance, conductivity, material thickness and the possible presence of vegetation are defined; to characterise the surrounding buildings, in addition to the intended use and the number of floors as a function of height H, the ratio of opaque surfaces to fixtures and the materials constituting the wall envelope package are defined (Fig. 3).

An Urban Weather Generator (UWG) integrated with the parametric program (Bueno et alii, 2013) simulates the urban microclimate. This model calculates air temperatures within urban canyons based on measurements from a weather station located in an open area outside a city. The climate files are in .epw format (EnergyPlus / ESP)²; this makes it possible to simulate the microclimate, which has higher temperatures on average than those measured by the weather station.

The simulation conditions are then defined, namely the height at which the simulation is to be carried out and the time of year. In order to analyse human comfort, we use the Universal Thermal Climate Index (UTCI), which is used to assess the level of thermal stress on the human body, considering the meteorological variables of the previously simulated microclimate – wind speed, relative humidity, air temperature, radiant temperature and solar radiation – and the thermoregulation model integrated with a clothing model (Błażejczyk et alii, 2010).

For the calculation of the UTCI, we then define the relationship between the individual's position and the sky in order to calculate the fraction of the body directly exposed to the sun for each hour of the day and year; this allows us to obtain the mean radiant temperature (T_{mrt}) needed to calculate the comfort index (Fig. 4). As a function of the UTCI, we calculate the stress level as shown in Table 2 (Bröde et alii, 2012).

The experimentation on three pilot cases | The methodology is applied to three pilot cases in order to analyse the influence of different parameters of the urban built environment on human stress: the Quarticciolo district in Rome, Italy; the Westside San Antonio neighbourhood in Texas, USA; and the Shuangta Suzhou neighbourhood in China. The case studies, although located in very different geographical contexts, are located in the same climatic zone of the world (the warm temperate zone) and face similar problems related to rising temperatures and extreme phenomena associated with climate change in those belts, particularly those of the accentuation of the urban heat island phenomenon and the increased frequency of heat waves. Moreover, they represent examples of established neighbourhoods built in the early 1900s, located in critical and hot contexts, and subject to social and physical degradation, with, at the same time, significant preservation of their strong historical and cultural background.

This is important for subsequent research developments, as further analysis makes it interesting to understand which strategies and intervention systems for redevelopment and regeneration are most appropriate as contextual characters, primarily cultural ones, vary. It is also interesting to consider that the three areas have three types of different ratios of building heights to street widths. In this

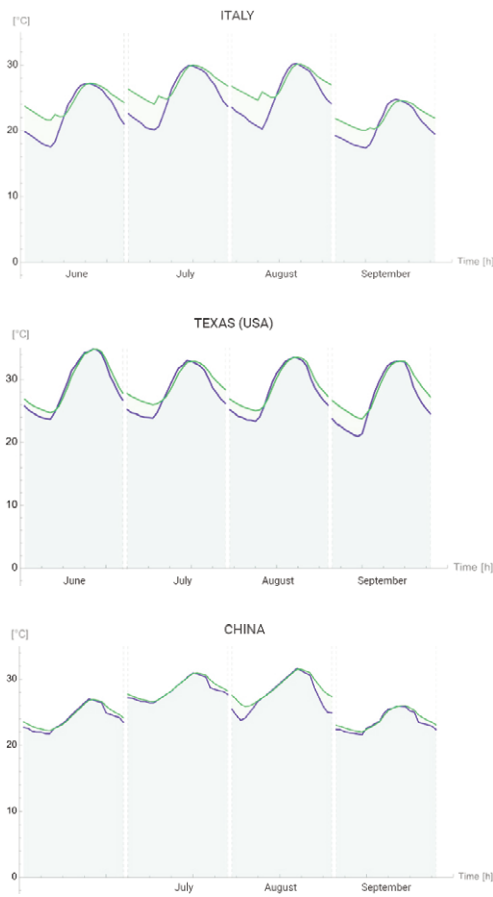


Fig. 9 | Graphs representing the daily average hourly temperature measured by the weather station and the simulated temperature in the urban microclimate during the summer period in the three case studies: the Quarticciolo, the Westside, and the Shuangta (credit: the Authors, 2024).

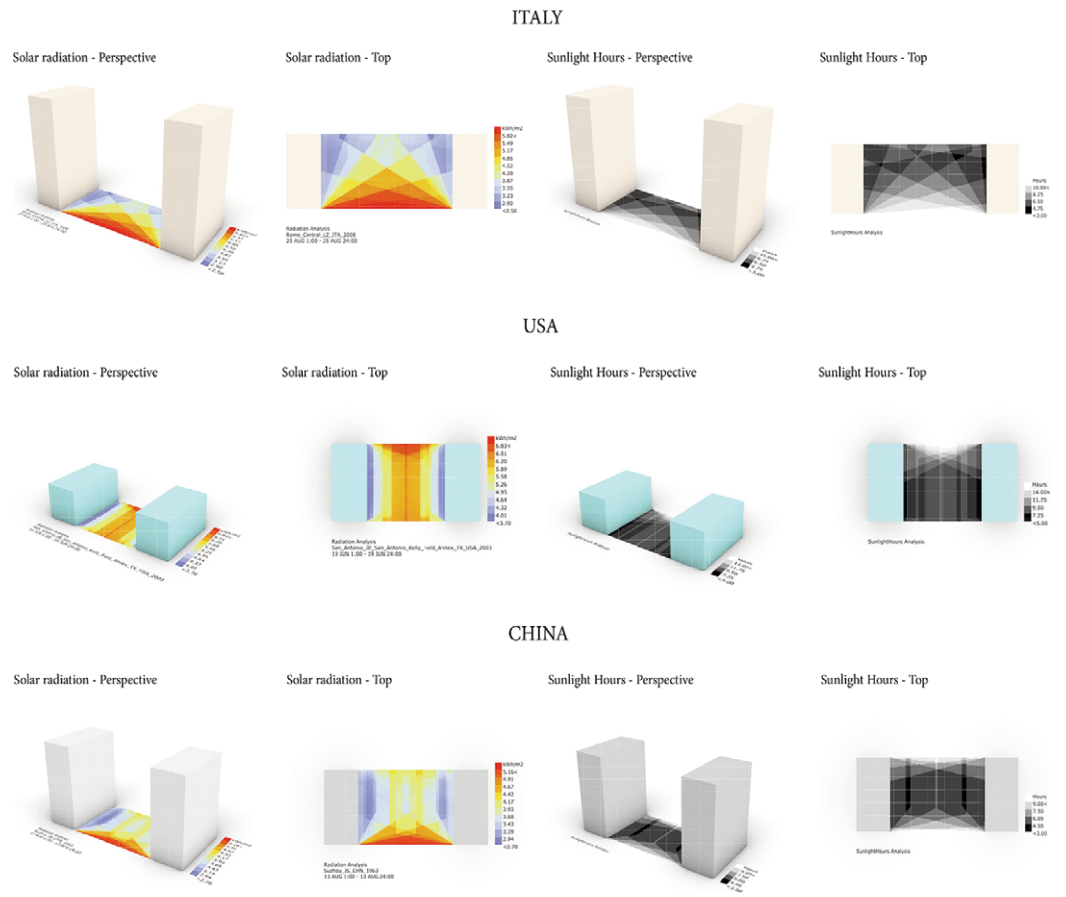


Fig. 10 | Solar radiation and sunshine hours during the hottest day of the year: August 25 for Quarticciolo in Rome, Italy (credit: the Authors, 2024).
Fig. 11 | Solar radiation and sunshine hours during the hottest day of the year: June 19 for the Westside in Texas (credit: the Authors, 2024).
Fig. 12 | Solar radiation and sunshine hours during the hottest day of the year: August 13 for Shuangta in China (credit: the Authors, 2024).

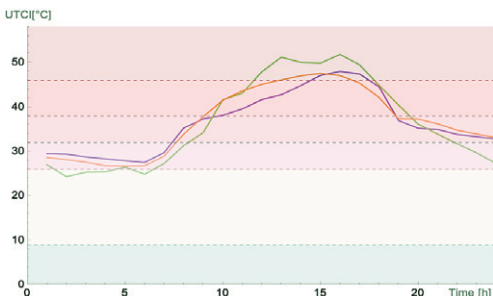


Fig. 13 | Hourly change in UTCI index during the hottest day of the year in the pilot cases analysed: (blue curve) August 25 for Quarticciolo; (green curve) June 19 for Westside; (orange curve) August 13 for Shuangta in China (credit: the Authors, 2024).

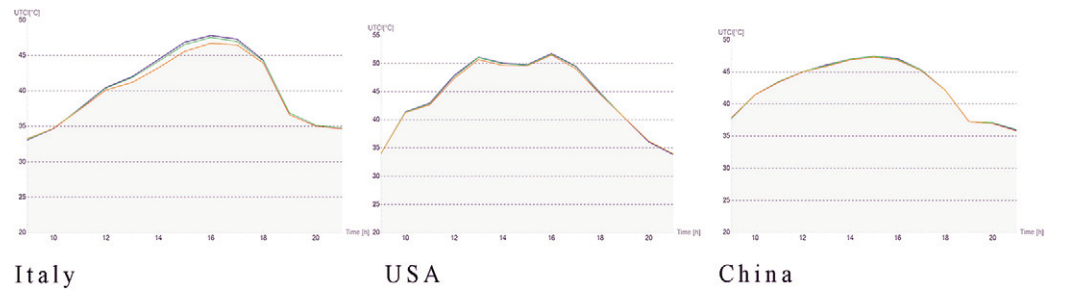


Fig. 14 | Variation of UTCI as the reflectance index changes during the hottest days (August 25) in Italy, (August 23) in China, and (June 19) in Texas. The blue curve corresponds to a reflectance index of 0.2, the green curve to 0.5, and the orange curve to 0.8 (credit: the Authors, 2024).

way, it is possible to compare the performance response to varying morpho-typological and technological-constructive characters in the face of external conditions that, while varying, of course, in terms of geographic-cultural aspects, have strong associations from the climatic point of view and on the level of the categories of climatic-environmental problems related to them (Fig. 5-8).

In Rome, temperatures range from 40 °C in summertime to -2 °C, with relative humidity between 100% and 19%. In San Antonio, temperatures remain above 15 °C for most of the year, with relative humidity ranging from 100% to 9%. In Suzhou, temperatures range from 35 °C to -4 °C, with relative humidity ranging from 100% to 26%.

The Roman district of Quarticciolo, in Rome, by Roberto Nicolini, was built starting in 1940 and completed between the 1950s and 1960s (Accorsi and Chiavoni, 2022). The average height of the buildings is 15 meters and the width is around 19 meters, while the surveyed masonry consists of pieces of 'Roman-style' tufa, lined with sparse recurrences of solid bricks extended within the thickness.³

The Westside, located in the City of San Antonio, is a historic neighbourhood characterised by the Chicana⁴ culture that, despite being located in a central area of the city, presents problems of environmental and social degradation. The area is characterised by a single-family wooden residential con-

struction consisting of wooden mullions, each of which houses an insulation layer. The morphology consists of mostly low, single-story buildings whose average height is 5 meters; most streets are around 11 meters wide.

The Shuangta Historic District, located in the Chinese City of Suzhou, was built around 1930. The district consists of social housing with low single-story buildings and apartment buildings up to four stories. The average height of the buildings is 12 meters, and the street width varies from a minimum of 10 meters to a maximum width of 19 meters. The outer shell consists of a layer of perforated brick and is protected by a fine interior and exterior plaster thickness.⁵

Results | The simulations conducted on the three case studies show a close correlation between urban density, materials used in construction, and human comfort. In this context, the complex links between climate, urban form, and human comfort were analysed by studying the morphological and construction patterns that prevail in the different case studies. Microclimatic conditions were simulated for the recurrent urban canyon types of the case studies and the envelope types characteristic of the existing built environment. The analysis period, characterised by the exceeding of a temperature limit of 25 °C, was selected in order to examine the most likely periods when extreme thermal phenomena may occur.

Figure 9 shows the impact of urban density, urban morphology and enclosure type in defining the urban microclimate; in fact, the artificialisation of the soil and the presence of materials and surfaces that inhibit heat dissipation through thermal radiation promote the greater accumulation of heat and the consequent increase in temperatures in the urban area. Considering that heat islands occur when urban surface and atmospheric temperatures are at least three degrees higher than in a rural area (Lai and Cheng, 2009), it is interesting to note that, in the Italian case, the heat island phenomenon appears to be more significant than in the other two case studies (with a gap of 5 °C in Italy, 1.5 °C in Texas and 3 °C in China): this is due to several constructional and morphological factors, which favour higher temperatures, including the width of roads, which in some places reaches up to 40 meters, resulting in dark-coloured asphalt surfaces (reflectance of 0.1).

It is also interesting to note that when the envelope's thermal transmittance is lower, as in the U.S. case, there is a decoupling between the building's interior and exterior thermal conditions; this leads to an increase in the envelope's exterior surface temperatures and, as a result, a slight increase in the surrounding exterior air temperature.

The second stage of the methodology aims to relate extreme thermal phenomena to thermal comfort. The hottest days in the three case studies are analysed: August 25 in Rome, with peaks of 40 °C and relative humidity of 24%; June 19 in San Antonio, with temperatures reaching 40°C and relative humidity of 26%; and August 13 in Suzhou, with temperatures reaching 35.5 °C and relative humidity of 54%.

Direct solar radiation and sunshine hours are analysed for the three H/W ratios at the selected hottest days at the three sites. The orientation chosen is north-south: in the Quatticciolo neighbourhood of Rome and the Shuangta neighbourhood

of Suzhou, it can be seen that the hours of sunshine are reduced by the shade brought by the surrounding buildings, while in San Antonio the hours of sunshine are significantly higher as well as the direct solar radiation due to the reduced height of the buildings (Figg. 10-12).

Finally, the equivalent temperature is calculated, which measures the human physiological response to the thermal environment (UTCI index). The results show that in the U.S. case the range of hours in which 'extreme' heat stress occurs is greater than the other two case studies (Fig. 13). The cause is related to a very low H/W ratio of 0.5 and the resulting absence of shade brought by buildings; facades and streets are therefore exposed to direct solar radiation for more hours of the day. Overall, on the hottest day, for the three case studies, the exposure to human heat stress is classified as 'strong', 'very strong', or 'extreme' and is 9 hours per day. The results confirm the crucial role of solar radiation exposure: pedestrians absorb energy from surrounding surfaces and direct sun exposure.

Figure 14 shows the correlation between the impact of the reflectance of the envelope / road system and human comfort in the three climate contexts. Three different reflectance values were analysed: 0.2 for a very dark colour; 0.5 for an average reflective surface; and 0.8 for a 'cold material'. The UTCI index results show that the average temperature generally decreases, and thus, thermal stress generally is lower for higher reflectance values, and this trend is detectable in all three climate zones; this is especially true for the Italian area, where the UTCI difference between the extreme reflectance is about 1 °C.

The results provide evidence that increased outdoor thermal stress is influenced by combinations of the following factors: lower H/W values, envelope surfaces and roads with low solar reflectance, and highly insulated envelopes. Consequently, strategies to increase shading and the use of low-reflectance, preferably light-coloured enclosures, could prove to be key measures to ensure a high level of outdoor thermal comfort.

Conclusions | The paper illustrates a methodological approach based on developing a numerical tool for the physical modeling of urban microclimate phenomena and assessing individual outdoor comfort, analysing the possible interactions between different levels and scales of analysis. The ability to examine the physical interactions of the Human-Building-Outdoor Environment system enables the definition of an in-depth cognitive framework that becomes the design basis for the definition of inter-

ventions aimed at climate mitigation. In this context, the original profile of the methodological approach based on the interoperability between morpho-constructive and human comfort aspects is highlighted.

From this perspective, simulation and modeling can facilitate the definition of appropriate technological strategies to improve outdoor urban comfort and mitigate the causes of climate change in the built environment. In this context, the proposed numerical model emerges as a decision-support tool for technicians, public administrations and researchers in the field, facilitating analysis, understanding and innovative technological design in existing urban contexts. This approach is in line with the objectives of the NextGenerationEU⁶ and the NRRP – National Recovery and Resilience Plan (MIMIT, 2023).

Based on a parametric tool, the methodology allows its replicability to different urban contexts. The proposed algorithm focuses on analysing extreme thermal phenomena; however, integrating additional parameters and meteorological input data collected over time could allow for a more in-depth examination of the physical interactions between individuals, buildings, and the environment during other phenomena, such as heat waves. A future numerical implementation will allow various technological-environmental intervention strategies, such as the installation of vegetated facades or sun protection systems, to be tested and their effects on outdoor physical well-being evaluated simultaneously. Finally, further research focuses on contextualising building energy consumption and indoor comfort to correlate outdoor and indoor environmental conditions.

The building sector is today at the centre of a profound energy and socioeconomic transition aimed at reducing emissions, which is clearly manifested in the shift from a 'design of things' to a 'design of cycles' approach, redefining the idea of circularity that invests national and international policy planning to support the regeneration of urban areas. From this point of view, research enables a deeper understanding of the interactions between humans, buildings and the environment to develop intervention strategies and regeneration scenarios: such an approach to innovation, interpreted as a process for human well-being and climate mitigation, seeks to identify in the built environment the origins of innovative phenomena, models and methods for a new sustainable way of building.

Acknowledgements

The contribution is the result of a joint reflection and work of the Authors. The articulation, shared by each Author's contributions within the specific parts of the article, is structured as follows: the selection of study sites and pilot cases is to be attributed to F. Tucci and F. Nava; F. Nava carried out the surveys and in situ measurements under the supervision of F. Tucci; the development of the workflow and algorithm are to be attributed to R. Zarcone and F. Nava; the introductory and 'Numerical workflow for stress assess-

ment in outdoor space' sections are to be attributed to R. Zarcone; the 'Experimentation on three pilot cases' section is to be attributed to F. Nava and F. Tucci; the 'Results' paragraph is to be attributed to R. Zarcone and F. Nava; and the conclusions are to be attributed to F. Nava, R. Zarcone, and F. Tucci. All co-authors reviewed, shared and accepted the final version of the manuscript.

The research is part of the larger PRIN Research Project (Project of Significant National Interest) 'FASTECH – A model for rapid technological building retrofit to cut energy demand and GHG emissions of housing toward renewable

energy self-consumption and the smart energy communities' (Call 2022), Principal Investigator Prof. F. Tucci, and was specifically conducted as part of the Doctoral Thesis of F. Nava, with Supervisor F. Tucci and Co-Supervisors M. Cimillo, D. D'Olimpio and R. Zarcone, within the Doctoral Programme in Planning, Design, Technology of Architecture, Environmental Technological Design Curriculum coordinated by F. Tucci, at 'Sapienza' University of Rome. A part of the Thesis was carried out in collaboration with the Laboratoire GSA, directed by R. Zarcone at the École Nationale Supérieure d'Architecture (ENSA) de Paris-Mala-

quais, and was supported by the scholarship granted by Sapienza University of Rome entitled 'Joint and Individual Research Projects for the Mobility Abroad of Doctoral Students of the XXXVI and XXXVII cycles' – Decree No. 1806/2022, Prot. No. 0051574 of 31/05/2022, won by F. Nava with Scientific Referent Prof. F. Tucci.

Notes

- 1) The algorithm was developed on Rhinoceros / Grasshopper, and the plugins are Ladybug, Honeybee and Drag-onfly.
- 2) For more information, see the webpage: ladybug.tools/epwmap/ [Accessed April 12, 2024].
- 3) Information regarding the wall packages is derived from Territorial Company for Public Residential Construction of the Municipality of Rome (10/06/2021), Quarticcio district, Lot VII, Building No. 11, Building via Ugento No. 37 – General Report of the Final Project 'Intervento di restauro e risanamento conservativo – Accesso agli incentivi statali previsti dalla legge 17 luglio 2020, n. 77, superbonus 110 per cento per interventi di efficienza energetica e interventi antisismici', pp. 9 and 10.
- 4) Chicana culture refers to an ethnic group that is predominantly Hispanic and Mexican. It differs from other cultures in that it has some influences peculiar to American culture. First- or second-generation Mexican immigrants are part of this ethnic group. Chicana culture encompasses ways of behaving, art making, stereotypes of beauty, architecture, customs, and traditions that are different from American ones.
- 5) The data are extracted from the Annual Report 2022, provided by Prof. Y. Dong (Design School of the Xi'an Jiaotong-Liverpool University), entitled 'Safeguarding Heritage and Community of Shuangta Area'.
- 6) For information on NextGenerationEU, see the webpage: next-generation-eu.europa.eu/index_en [Accessed 15 April 2024].

References

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H. and Younis, I. (2022), "A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures", in *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, issue 28, pp. 42539-42559. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6 [Accessed 12 April 2024].
- Accorsi, M. L. and Chiavoni, E. (eds) (2022), *Le piazze alberate del Quarticcio – Costruzione e percezione attraverso il percorso conoscitivo – Catalogo della mostra (Roma, 16/12/2022-20/04/2023)*, Edizioni Quasar, Roma. [Online] Available at: digital.casalini.it/10.48235/1012 [Accessed 12 April 2024].
- Aghamolaei, R., Azizi, M. M., Aminzadeh, B. and O'Donnell, J. (2023), "A comprehensive review of outdoor thermal comfort in urban areas – Effective parameters and approaches", in *Energy & Environment*, vol. 34, issue 6, pp. 2204-2227. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0958305X221116176 [Accessed 12 April 2024].
- Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B. and Kunert, A. (2010), "Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale", in *Miscellanea Geographica*, vol. 14, issue 1, pp. 91-102. [Online] Available at: intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/mgrsd-2010-0009 [Accessed 12 April 2024].
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B. and Havenith, G. (2012), "Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)", in *International Journal of Biometeorology*, vol. 56, pp. 481-494. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1 [Accessed 12 April 2024].
- Bueno, B., Norford, L., Hidalgo, J. and Pigeon, G. (2013), "The urban weather generator", in *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 6, issue 4, pp. 269-281. [Online] Available at: doi.org/10.1080/19401493.2012.718797 [Accessed 12 April 2024].
- Conato, F. and Frighi, V. (2020), "Progetto e complessità – Un approccio multiscale per attualizzare gli strumenti di controllo del progetto | Design and complexity – A multiscale approach for updating the project's control tools", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 154-163. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/7162020 [Accessed 12 April 2024].
- da Costa Meyer, E. (2016), "Architectural history in the Anthropocene – Towards methodology", in *The Journal of Architecture*, vol. 21, issue 8, pp. 1203-1225. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13602365.2016.1254270 [Accessed 12 April 2024].
- Di Giuseppe, E., Pergolini, M. and Stazi, F. (2017), "Numerical assessment of the impact of roof reflectivity and building envelope thermal transmittance on the UHI effect", in *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 404-413. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.590 [Accessed 12 April 2024].
- Du, S., Zhang, X., Jin, X., Zhou, X. and Shi, X. (2022), "A review of multi-scale modelling, assessment, and improvement methods of the urban thermal and wind environment", in *Building and Environment*, vol. 213, article 108860, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108860 [Accessed 12 April 2024].
- González-Campaña, J., Lafaurie-Debany, N. and Rabazo Martin, M. (2023), "Realizzare paesaggi innovativi – Balmori Associates ridefinisce il rapporto uomo-natura per le città del futuro | Making innovative landscapes – Balmori Associates redefining the human-nature relationship for the cities of the future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 31-42. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1322023 [Accessed 12 April 2024].
- Ibrahim, Y. I., Kershaw, T. and Shepherd, P. (2020), "A methodology For Modelling Microclimate – A Ladybug-tools and ENVI-met Verification Study", in *35th Plea Conference Sustainable Architecture and Urban Design – A Coruña, Spain, 01/09/20-03/09/20*. [Online] Available at: doi.org/10.17979/spudc.9788497497947 [Accessed 12 April 2024].
- IPCC – International Panel of Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Kandya, A. and Mohan, M. (2018), "Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications", in *Energy and Buildings*, vol. 164, pp. 266-277. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.014 [Accessed 12 April 2024].
- Helliwell, J. F., Layard, R., Sachs, J. D. and De Neve, J.-E. (eds), *World Happiness Report*. [Online] Available at: happiness-report.s3.amazonaws.com/2020/WHR20.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Lai, L.-W. and Cheng, W.-L. (2009), "Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns", in *Science of The Total Environment*, vol. 407, issue 8, pp. 2724-2733. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.002 [Accessed 12 April 2024].
- Lewis, S. L. and Maslin, M. A. (2018), *The Human Planet – How We Created the Anthropocene*, Penguin Books, London.
- Lucarelli, M. T., Milardi, M., Mandaglio, M. and Musarella, C. C. (2020), "Fenomeni macro vs risposte micro – Approcci multiscale nei rapporti dinamici tra involucro e contesto | Macro phenomena vs micro responses – Multi-scale approaches in the dynamic relationship between envelope and context", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 26-33. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/732020 [Accessed 12 April 2024].
- Magliocco, A. and Oneto, G. (2023), "Configurazioni spaziali nell'analisi ambientale urbana – Il contributo dell'isola di calore | Spatial configurations in urban environmental analysis – The role of the heat island effect", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 216-223. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14182023 [Accessed 12 April 2024].
- Migliari, M., Despax, J., Chesne, L. and Baverel, O. (2023), "Street albedos repartition's effects on urban heat island and outdoor thermal comfort", in Rajagopalan, P., Soebarto, V. and Akbari, H. (eds), *6th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (IC2UHI)*, pp. 1-10. [Online] Available at: researchgate.net/publication/377444256_Street_albedos_repartition%27s_effects_on_urban_heat_island_and_outdoor_thermal_comfort [Accessed 12 April 2024].
- MIMIT – Ministero delle Imprese e del Made in Italy (2023), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: mimit.gov.it/images/stories/documenti/PN-RR_Aggiornato.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Muniz-Gaal, L. P., Pezzuto, C. C., de Carvalho, M. F. H. and Mota, L. T. M. (2020), "Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate", in *Building and Environment*, vol. 169, article 106547, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106547 [Accessed 12 April 2024].
- Olivieri, F. (2022), "Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente | Symbiotic design for a resilient urban ecosystem", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1132022 [Accessed 12 April 2024].
- Perini, K., Chokhachian A., Dong S. and Auer, T. (2017), "Modeling and simulating urban outdoor comfort – Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper", in *Energy and Buildings*, vol. 152, pp. 373-384. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.061 [Accessed 12 April 2024].
- Piracha, A. and Chaudhary, M. T. (2022), "Urban air pollution, urban heat island and human health – A review of the literature", in *Sustainability*, vol. 14, issue 15, article 9234, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14159234 [Accessed 12 April 2024].
- Stavrakakis, G. M., Katsaprakakis, D. A. and Damasiotis, M. (2021), "Basic principles, most common computational tools, and capabilities for building energy and urban microclimate simulations", in *Energies*, vol. 14, issue 20, article 6707, pp. 1-41. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14206707 [Accessed 12 April 2024].
- Strømman-Andersen, J. and Sattrup, P. A. (2011), "The urban canyon and building energy use – Urban density versus daylight and passive solar gains", in *Energy and Buildings*, vol. 43, issue 8, pp. 2011-2020. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.007 [Accessed 12 April 2024].
- Tucci, F., Cecafosso, V., Altamura, P. and Giampaolletti, M. (2022), "Simulazione e modellazione per l'adattamento e la mitigazione climatica – Esperienze di riqualificazione ambientale a Roma | Simulation and modelling for climate adaptation and mitigation – Experiences of environmental renovation in Rome", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 106-121. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12102022 [Accessed 12 April 2024].
- UN – United Nations (2015), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 12 April 2024].
- Zarcone, R. (2021), "Built environment for hygiene and energy performances – A comparative analysis between studies at the turn of the 20th century and current literature", in Gambardella, C. (ed.), *World Heritage and Design for Health | XIX International Forum – Le Vie dei Mercanti*, Gangemi Editore Internazionale, Roma. [Online] Available at: cdn.gangemieditore.com/import/materialiVari/WORLD_HERITAGE_and_DESIGN_FOR_HEALTH_A_TTI.pdf [Accessed 12 April 2024].