

Mariana Pereira Guimarães, <https://orcid.org/0000-0002-3387-851X>
Valentina Dessì, <https://orcid.org/0000-0003-1839-491X>
Dipartimento di Architettura e Studi Urbani Politecnico di Milano, Italia

mariana.pereira@polimi.it
valentina.dessi@polimi.it

Abstract. L'articolo presenta una metodologia per la progettazione di oasi urbane strategicamente localizzate, utili per migliorare il comfort termico negli spazi urbani. La metodologia prevede: 1) identificazione su scala urbana di quartieri vulnerabili dal punto di vista socio-economico e ambientale; 2) mappatura all'interno dei quartieri selezionati degli spazi freschi esistenti; 3) individuazione, attraverso l'analisi delle reti spaziali, delle aree distanti più di 5 minuti a piedi dalle aree fresche precedentemente analizzate, e dunque più esposte al caldo; 4) la proposta di interventi puntuali, con soluzioni basate sull'uso dell'acqua (WBS) e vegetazione, da inserire negli spazi urbani con buone potenzialità di essere le nuove oasi urbane. La metodologia è stata testata nel quartiere Corvetto a Milano.

Parole chiave: Comfort termico; Raffrescamento evaporativo; Vivibilità; Adattamento climatico; Approccio olistico transcalare.

Introduzione

Lo stress termico rappresenta una delle sfide ambientali e di salute pubblica più urgenti, con il caldo estremo che è la prima causa di morte tra gli eventi climatici estremi, in particolare durante le ondate di calore sempre più frequenti e intense che colpiscono prevalentemente le fasce più fragili della popolazione, fra le quali gli anziani e le persone socio-economicamente vulnerabili, che non hanno la possibilità di adattare le proprie case (WHO, 2016). Le città affrontano rischi amplificati a causa dell'effetto combinato con la UHI (*Urban Heat Island*, isole di calore urbane), in cui la morfologia, l'uso di materiali non adeguati, e la scarsa presenza di spazi verdi peggiorano le condizioni. Il riscaldamento globale sta accelerando più rapidamente del previsto (IPCC, 2018) e l'Europa vedrà un significativo aumento delle temperature estive (EEA, 2020). Nonostante la chiara urgenza di adeguate misure di adattamento, anche i Comuni

Blue-green urban oasis:
creating strategic cool
spots in overheated
neighbourhoods

Abstract. The paper presents a methodology for adapting to urban overheating by creating strategically located blue-green oases – combining vegetation and water systems to enhance neighbourhood thermal comfort. Focusing on Milan's Corvetto district as an example, the methodology includes 1) identifying socio-environmentally vulnerable neighbourhoods at the city scale; 2) mapping existing cool spots within the neighbourhood; 3) identifying areas beyond a 5-minute walking radius from these cool spots; and 4) proposing local interventions, such as water-based solutions (WBS), in urban spaces that could become new "cool spots". The results highlight a network of potential new cooling spaces.

Keywords: Thermal comfort; Evaporative-cooling; Liveability; Climate adaptation; Holistic cross-scalar approach.

più efficienti, con risorse adeguate disponibili, faticano a implementare misure rapide e su larga scala necessarie per affrontare le crescenti esigenze.

Nel Nord Europa, i Paesi Bassi, nonostante da sempre abbiano focalizzato l'attenzione sulla gestione di piogge in eccesso e alluvioni, stanno lavorando in maniera molto attiva nell'integrazione di misure di adattamento al calore. Attraverso il "Delta Programme in Spatial Adaptation" sviluppato dal Ministero delle infrastrutture e della gestione delle acque, a partire dal 2015 il Paese ha sviluppato piani a lungo termine (2050 e 2100) fornendo ai Comuni un quadro di riferimento per integrare misure efficaci nelle politiche esistenti.

I Paesi mediterranei, tipicamente più soggetti a questi fenomeni, sembrano incidere in maniera meno efficace. L'Italia ha compiuto progressi significativi, soprattutto in termini di mitigazione, grazie al Patto dei Sindaci. Questa iniziativa ha acquisito slancio a livello locale, guidando gli sforzi attraverso i Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC). Tuttavia, sul fronte dell'adattamento, sono Milano e Bologna a svolgere un ruolo pilota nell'affrontare gli impatti del caldo estremo.

Il piano urbanistico di Bologna (PUG) affronta in modo innovativo lo stress termico, includendo misure di adattamento come l'uso obbligatorio di materiali da costruzione con un elevato valore di albedo (in sostanza materiali chiari e lisci, invece che scuri e rugosi), Misure basate sull'uso di NbS (*Nature based Solutions*, soluzioni basate sull'uso degli elementi naturali, e imponendo che i nuovi sviluppi urbanistici non vadano a peggiorare le condizioni del microclima locale (Cremonini *et al.*, 2023). È stata sviluppata una mappa della vulnerabilità

Introduction

Heat stress is one of the most urgent environmental and public health challenges today, with extreme heat now causing the highest mortality rates among climate extremes, particularly during increasingly frequent and severe heatwaves that disproportionately affect the elderly and socio-economically vulnerable populations, which cannot adapt their living environment (WHO 2016). Cities face amplified risks of heatwaves due to them being combined with the Urban Heat Island (UHI) effect, where morphology, materials and scarce greenery exacerbate rising temperatures. Global warming is accelerating faster than anticipated (IPCC, 2018), with Europe expected to see sharp increases in summer temperatures (EEA, 2020). While the urgency of adaptation is clear, even municipalities with robust govern-

ance and resources struggle to implement the rapid, large-scale measures required to keep pace with escalating demands.

In Northern Europe, the Netherlands has emerged as a surprising leader in mainstreaming heat adaptation measures, despite its traditional focus on managing extreme rainfall and floods. Through the "Delta Programme in Spatial Adaptation", launched in 2015 by the Ministry of Infrastructures and Water Management, the country has established long-term plans (2050 and 2100) providing municipalities with a cohesive framework to integrate heat resilience into existing policies.

Mediterranean countries, which have been dealing with these issues for decades, seem to be less effective in addressing them. Italy, a country more severely affected by extreme heat, has made significant progress, particularly concern-

microclimatica per conoscere le zone della città con le più alte concentrazioni di popolazione vulnerabile maggiormente esposte al calore eccessivo.

Milano ha identificato le sezioni censuarie come unità minima per effettuare queste valutazioni ad una scala minuta. Ha quindi identificato le sezioni con la maggiore vulnerabilità al calore. Il Piano Aria e Clima di Milano, adottato nel 2022, promuove strategie come l'espansione della copertura arborea, l'aumento delle aree verdi, la riduzione delle superfici impermeabili e l'uso di tetti e pareti verdi. Tuttavia, sebbene efficaci, le strategie di inverdimento da sole non sono sufficienti e devono essere accompagnate da misure aggiuntive per mitigare in modo completo gli impatti del calore urbano (Pascal *et al.*, 2021).

Un metodo per riconoscere le vulnerabilità della città e le potenzialità dei suoi spazi urbani

Le mappe risultanti dall'analisi delle zone censuarie di Bologna e Milano rivelano che le aree ambientalmente vulnerabili sono diffuse in tutta la città, coprendo una porzione significativa

dell'ambiente costruito. Le soluzioni sostenibili per ridurre le temperature spaziano dal miglioramento delle reti blu e verdi a livello cittadino, alla mobilità sostenibile, e a misure locali puntuali per migliorare le condizioni di comfort termico negli spazi urbani.

Da dove dovrebbero iniziare i Comuni? Poiché l'adattamento è un processo impegnativo da diversi punti di vista, la sfida consiste nel decidere le priorità e saper allocare efficacemente le risorse.

Il metodo proposto (Fig. 1) è stato sviluppato nell'ambito di una tesi di dottorato di ricerca, parte del progetto di ricerca EU-

ing mitigation, thanks to the Covenant of Mayors. This initiative has gained momentum at the local level, driving efforts through Action Plans for Sustainable Energy and Climate (PAESC). However, on the adaptation front, Milan and Bologna have taken the lead in addressing the impacts of extreme heat. Bologna's urban plan (PUG) innovatively tackles urban heat stress by incorporating informed adaptation measures, such as enforcing the use of high-albedo building materials (i.e. light and smooth materials, instead of dark and rough ones) and NbS (Nature-based Solutions), and mandating that new developments maintain or improve local microclimates (Cremonini *et al.*, 2023). A microclimatic vulnerability map highlights census blocks throughout the city with the highest concentrations of vulnerable populations at greater risk of heat exposure.

Similarly, Milan has used the census blocks as the unit to identify the highest vulnerability to heat exposure within the city. These block units are the smallest Census unit that could be used to perform this analysis. The Milan Air and Climate Plan, adopted in 2022, promotes strategies like expanding tree canopies, increasing green areas, reducing paved surfaces, and encouraging green roofs and walls. While effective, greening strategies alone are insufficient and must be paired with additional measures to mitigate urban heat impacts comprehensively (Pascal *et al.*, 2021).

A method to identify the city's vulnerabilities and assess the potential of its urban spaces

The resulting census block maps for Bologna and Milan reveal that environmentally vulnerable areas are wide-

spread across the cities, encompassing a significant portion of the built environment. Available solutions to reduce temperatures range from city-wide blue-green networks and sustainable mobility options to localised measures that enhance thermal comfort. Where should municipalities begin? Since adaptation requires attention from multiple perspectives, the challenge lies in prioritising interventions and distributing resources efficiently. The proposed method (Fig. 1) was developed as part of a PhD thesis within the framework of the EU-MSCA-ITN-EID- SOLOCLIM (SOLutions for Outdoor CLIMate Adaptation)¹ research project. It suggests starting by identifying areas in the city that are socially and economically vulnerable and exposed to extreme heat, where a framework inspired by concepts developed for Dutch municipalities

focused on identifying and creating "cool oases," small public spaces that have the potential to receive extra WBS (Water-based cooling systems), and prioritising these interventions (cool paths and cool spots) along key pedestrian and circling routes. The research underscores the importance of working at the neighbourhood scale systematically. Indeed, these areas are bigger than census blocks but smaller than districts, and correspond closely to the ISTAT (National Statistical Institute) Census Area (Aree di Censimento-ACE). The neighbourhood scale is widely recognised as effective for impactful change (Gobster, 2001), emphasising the importance of context-specific planning that considers social, environmental, and economic factors. A methodology was developed based on the Dutch approach. As shown in figure 1, the process included:

Sulla base del metodo olandese, è stata sviluppata una nuova metodologia. Come illustrato in Figura 1, il processo si articola in:

1. un'analisi a livello urbano per identificare i quartieri socialmente ed economicamente vulnerabili ed esposti al caldo estremo, tramite GIS, telerilevamento e analisi spaziale;
2. la selezione di un quartiere con un alto livello di vulnerabilità per mappare e valutare i punti freschi esistenti con l'individuazione delle aree densamente vegetate, (che possono essere in seguito misurate in una campagna di misure);

spread across the cities, encompassing a significant portion of the built environment. Available solutions to reduce temperatures range from city-wide blue-green networks and sustainable mobility options to localised measures that enhance thermal comfort. Where should municipalities begin? Since adaptation requires attention from multiple perspectives, the challenge lies in prioritising interventions and distributing resources efficiently. The proposed method (Fig. 1) was developed as part of a PhD thesis within the framework of the EU-MSCA-ITN-EID- SOLOCLIM (SOLutions for Outdoor CLIMate Adaptation)¹ research project. It suggests starting by identifying areas in the city that are socially and economically vulnerable and exposed to extreme heat, where a framework inspired by concepts developed for Dutch municipalities

focused on identifying and creating "cool oases," small public spaces that have the potential to receive extra WBS (Water-based cooling systems), and prioritising these interventions (cool paths and cool spots) along key pedestrian and circling routes. The research underscores the importance of working at the neighbourhood scale systematically. Indeed, these areas are bigger than census blocks but smaller than districts, and correspond closely to the ISTAT (National Statistical Institute) Census Area (Aree di Censimento-ACE). The neighbourhood scale is widely recognised as effective for impactful change (Gobster, 2001), emphasising the importance of context-specific planning that considers social, environmental, and economic factors. A methodology was developed based on the Dutch approach. As shown in figure 1, the process included:

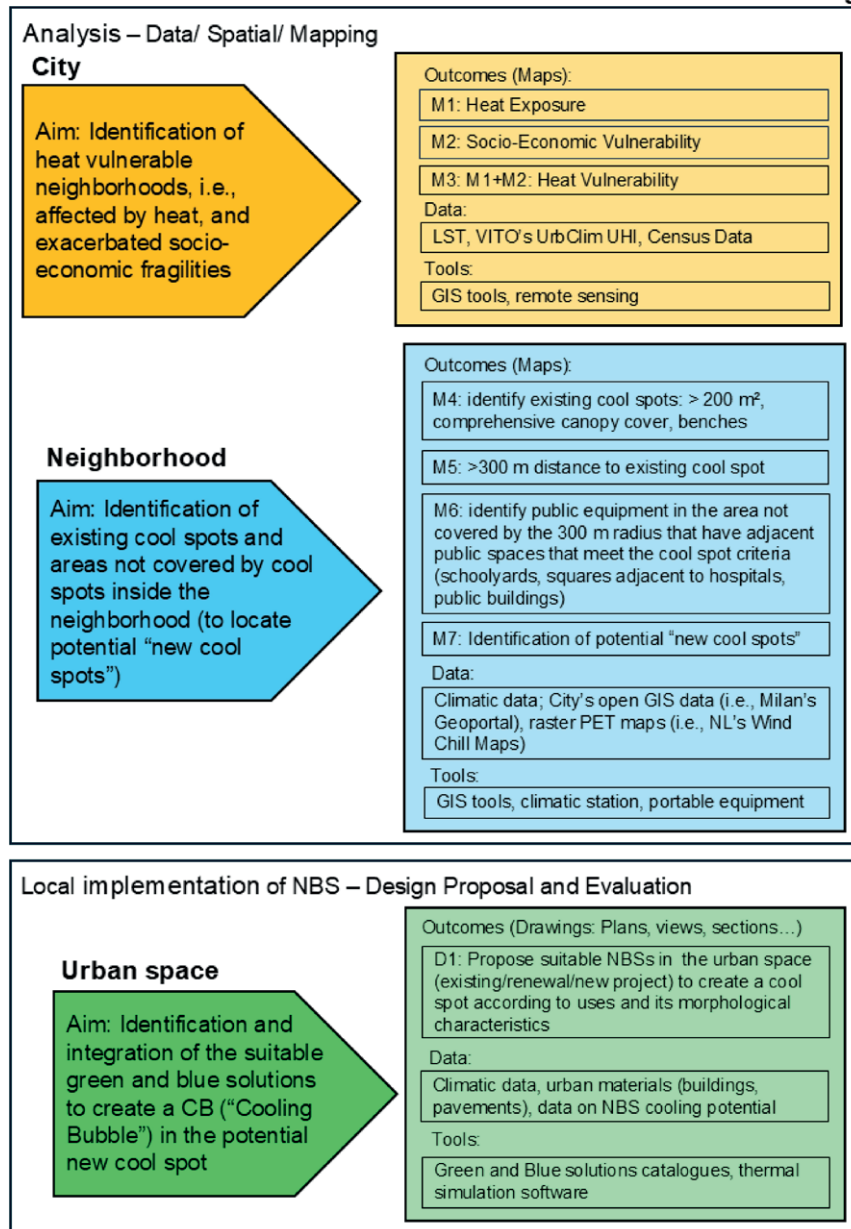
3. mappatura delle aree ad una distanza minima di 300 metri (5 minuti di camminata) per valutare la copertura di punti di sosta freschi e, allo stesso tempo, la non presenza di essi, utile anche per identificare nuove potenziali “oasi fresche”;
4. la stima dell’efficacia di WBS ed in generale di NbS su scala locale, tramite simulazioni di comportamento termico per verificare il reale potenziale di raffrescamento delle “oasi fresche” proposte.

L’implementazione della metodologia. Il caso della città di Milano in Italia

Vulnerabilità al calore della città di Milano

La metodologia è stata applicata alla città di Milano, soggetta a ondate di calore estivo sempre più intense e prolungate nel tempo. Nella prima fase sono stati utilizzati due set di dati per mappare l’esposizione al calore: dati sull’intensità delle UHI con risoluzione di 100m (2008-2017), simulati con il software

A cross-scalar method to locate interventions to reduce urban overheating: | 01



UrbClim (De Ridder *et al.*, 2018) della società belga VITO², e i dati di LST (Land Surface Temperature, cioè temperatura in prossimità della superficie). I dati raster generati dal software UrbClim fanno parte del programma Copernicus European Health per il Copernicus Climate Change Service (C3S).

Questi dati in formato raster sono generati da una serie di input modellati per fornire una visione completa dei cambiamenti della temperatura dell'aria in tutta la città.

Il secondo set di dati si riferisce alle temperature diurne della superficie terrestre utilizzando i dati Landsat-8, disponibili sul Geoportale del Comune di Milano, resi disponibili da Bloomberg Associates e NOA (l'Osservatorio Nazionale di Atene).

I dati UrbClim della società VITO e LST Landsat-8 sono stati processati per le ACE (aree censuarie) di Milano, considerate unità di quartiere dall'ISTAT, utilizzando lo strumento "Statistiche zonali" nel software GIS ESRI ArcGIS Pro³.

Dai risultati appare che le ACE centrali siano maggiormente esposte al calore, coerentemente con la morfologia urbana di Milano: le aree centrali sono densamente edificate, pavimentate e molto trafficate, mentre i parchi e in particolare i parchi agricoli alla periferia contribuiscono a mitigare le temperature dell'aria e della superficie. Nel Nord Italia, il calore è spesso combinato con elevata umidità, rendendo le ondate di calore particolarmente pericolose.

L'esposizione al calore da sola non è sufficiente per identificare i quartieri vulnerabili. Lo studio ha quindi integrato fattori socio-economici che contribuiscono alla vulnerabilità utilizzando tre variabili: reddito, livello di degrado delle abitazioni e la dipendenza, un indice basato sull'età dei gruppi economicamente attivi e non attivi.

1. A city-wide analysis to identify socio-economically vulnerable neighbourhoods that are exposed to extreme heat by using GIS, remote sensing, and spatial analysis;
2. Selecting a qualifying neighbourhood to map and assess existing cool spots;
3. Using a 300-metre minimum walking distance to evaluate coverage of refreshing stops and identify potential new "cool spots";
4. Testing Nbs at the local scale with thermal simulation software; alternatively, consult an efficacy catalogue of solutions or consult with experts to estimate the cooling potential of the proposed "cool oasis".

Applying the Method: The Milan Case Study

Heat Vulnerability in Milan

The methodology was applied in Milan, Italy, which is subject to increas-

ingly intense and prolonged summer heat waves. For Step 1, two datasets were used to map heat exposure: UHI intensity data from the Belgian company VITO's² UrbClim software 2008-2017 – simulations of high resolution air temperature data (100m resolution) (De Ridder *et al.*, 2018), and LST (daytime land surface temperatures) from Landsat-8 imagery, available through Milan's Geoportal. The raster data generated by the UrbClim software is part of the Copernicus European Health programme for the Copernicus Climate Change Service (C3S). These raster-format data are generated from a series of inputs modelled to provide a comprehensive view of air temperature changes throughout the city.

The second dataset refers to diurnal land surface temperatures using Landsat-8 data input, courtesy of Bloom-

- ACE a basso reddito: I dati sul reddito per codice postale del Ministero delle Finanze sono stati normalizzati per evidenziare le aree a basso reddito. I gruppi a basso reddito in Italia sono più sensibili al calore per una minore capacità adattiva (Martello *et al.*, 2008), come l'impossibilità di permettersi condizionatori e miglioramento dell'involucro edilizio, mentre le popolazioni anziane benestanti hanno la possibilità di adattare le proprie abitazioni ed eventualmente trasferirsi temporaneamente in zone più fresche (Campolo *et al.*, 2024).
- Qualità delle abitazioni: I dati sugli edifici in cattivo stato di manutenzione provenienti dall'8milaCensus ISTAT hanno evidenziato aree dove strutture vecchie e scarsamente isolate aggravano la domanda di energia per il raffrescamento e il disagio durante le ondate di calore (Zinzi *et al.*, 2020).
- Indice di dipendenza: Il database ISTAT 2011 è stato utilizzato per calcolare un indice di dipendenza, dividendo le persone non autonome (sotto i 14 anni e sopra i 65 anni) per la popolazione in età lavorativa (15–64 anni).

I dati confermano che il centro di Milano presenta una vulnerabilità socio-economica inferiore, mentre la periferia mostra una maggiore vulnerabilità, in linea con studi che evidenziano concentrazioni di popolazioni fragili nelle aree periferiche e una crescente polarizzazione socio-spaziale della città (Pasqui, 2022). Ogni indicatore è stato mappato sulle ACE e standardizzato su una scala da 1 a 5 utilizzando ESRI ArcGIS Pro. La vulnerabilità al calore è stata visualizzata in una matrice bivariata, combinando vulnerabilità socioeconomica ed esposizione al calore (Fig. 2). La mappa risultante identifica almeno quattro ACE in cui una forte esposizione al calore si sovrappone a elevate con-

erg Associates and NOA, the National Observatory of Athens.

Taking a different approach from what has been done in climate plans in Italy, VITO's UrbClim and Landsat-8 LST data were processed for Milan's census areas (ACE) as neighbourhood units mapped by the ISTAT, using the "Zonal Statistics" tool in ArcGIS Pro³. Results indicate that central ACEs face greater heat exposure, consistent with Milan's urban morphology. Central areas are heavily built up, paved, and traffic-congested, while urban parks and agricultural parks in the city's outskirts mitigate air and surface temperatures. Heat is often combined with high humidity levels in Northern Italy, making heatwaves especially dangerous. Heat exposure alone is insufficient to identify vulnerable neighbourhoods. Therefore, the study incorporated socioeconomic factors contributing

to vulnerability by using three variables: income, housing quality, and a dependency index, based on the age of economically and non-economically active groups.

- Low Income ACEs: Income data by postal code from the Italian Ministry of Finance was normalised to highlight low income areas. Studies show that low income groups in Italy face greater heat sensitivity due to reduced adaptive capacity (Martello *et al.*, 2008), such as the capacity to afford air conditioning and housing improvements, while affluent elderly populations can temporarily relocate to cooler areas (Campolo *et al.*, 2024).
- Housing Quality: Data on poorly maintained buildings from ISTAT's 8milaCensus highlighted areas where ageing, poorly insulated structures exacerbate cooling ener-

centrazioni di gruppi vulnerabili, inclusi individui dipendenti e residenti a basso reddito in abitazioni degradate.

Punti Freschi e Infrastrutture NBS: Un Caso Studio nel quartiere Corvetto di Milano

Nei Passaggi 2 e 3, la metodologia si focalizza sulla scala di quartiere, applicando i principi dei “punti freschi” e della “distanza minima dai punti freschi” basati sulle linee guida olandesi per facilitare la pianificazione municipale di adattamento al calore. Un “punto fresco,” come definito in Kluck *et al.* (2020) è uno spazio pubblico all’aperto di almeno 200 mq, accessibile, sicuro, e dotato di panchine, con temperature percepite di Temperatura Fisiologica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature*, PET) inferiori a 35°C. Nello studio presente, valori compresi tra 9°C e 26°C sono considerati confortevoli (Höppe, 1999). Valori leggermente superiori possono indicare un lieve disagio, mentre temperature significativamente superiori a questo intervallo sono associate a un forte stress termico. Nei Paesi Bassi, vengono utilizzati dai Comuni mappe raster PET ad alta risoluzione per identificare questi spazi (Koopmans *et al.*, 2020).

Per Milano, invece, lo studio ha mappato le aree verdi esistenti coperte da alberi e ha eseguito misurazioni in loco utilizzando dispositivi Kestrel® 5400 (Klok *et al.*, 2021) per calcolare i valori di PET. È stato selezionato il quartiere di Corvetto per implementare la metodologia sviluppata. Situato a sud-est di Milano, il quartiere è caratterizzato da una prevalenza di edilizia popolare. Quest’area marginale urbana rappresenta una transizione tra la città compatta e la cintura verde, confinando a sud con il Parco Agricolo Sud e a est con Porto di Mare.

gy demand and discomfort during heatwaves (Zinzi *et al.*, 2020).

– Dependency Index: ISTAT’s 2011 database was used to calculate a dependency index that divides non-autonomous individuals (under 14 and over 65) by the working-age population (15-64).

Data confirm that central Milan exhibits lower socio-economic vulnerability, while the outskirts show higher vulnerability, aligning with studies highlighting fragile populations concentrated in peripheral areas and the city’s increased socio-spatial polarisation (Pasqui, 2022).

Each indicator was mapped to the ACEs and standardised on a 1-5 scale using ESRI ArcGIS Pro. Heat vulnerability was visualised in a bivariate matrix, combining socio-economic vulnerability with heat exposure (Fig. 2). The resulting map identifies at least

four ACEs where high heat exposure intersects with high concentrations of vulnerable groups, including dependent individuals and low income residents in poorly maintained housing.

Cool Spots and Nbs Infrastructure: A Case Study in Corvetto, Milan

In Steps 2 and 3, the methodology scales down to the neighbourhood level, applying the principles of “cool spots” and minimum distance to cool spots” based on Dutch guidelines designed to streamline municipal heat adaptation planning. A “cool spot,” as defined by (Kluck *et al.*, 2020), is a public outdoor space of at least 200 square metres that is accessible, safe, and equipped with benches, with perceived temperatures falling below the Physiological Equivalent Temperature (PET) of 35°C. This study considers values between 9°C and 26°C com-

Nel quartiere Corvetto, sono state individuate diverse aree che soddisfano i criteri dei punti freschi. Sono stati inclusi anche spazi inferiori a 200 metri quadrati per il loro potenziale di utilizzo pubblico. Questi includono: Piazzale Gabrio Rosa, Parco Pubblico S. Caviglia, Area Verde Buca, Piazza Bonomelli, Giardino Pubblico Nervesa (Parco Rosso) e Parco Verde in Via Longanesi-Nervesa (Fig. 3).

Le misurazioni, effettuate secondo i criteri di Kluck dei parametri climatici per la valutazione delle condizioni di comfort termico sono state effettuate il 4 e 5 giugno 2024 con due dispositivi Kestrel® 5400. La tabella 1 riassume i risultati ottenuti. Nel Passaggio 3, lo strumento “Service Area Network” di ArcGIS Pro è stato utilizzato per mappare l’area di 300 metri di distanza percorribile a piedi da questi punti freschi, tenendo conto delle condizioni della rete stradale, delle barriere e dei percorsi pedonali (Fig. 4). Lo standard dei 300 metri, basato su diversi studi (Coffin and Morrall, 1995; Nuijten, 2008), mira a garantire che, entro una camminata di 5 minuti, gruppi vulnerabili come anziani, bambini o persone con disabilità possano riposarsi e rinfrescarsi durante eventi di caldo estremo mentre si dirigono verso servizi pubblici e attrezzature, come scuole, uffici pubblici, farmacie o supermercati situati nel quartiere.

Nuove forme di oasi urbane. Dalle potenzialità degli spazi urbani alla loro valorizzazione

La fase successiva si focalizza sulla scala locale, per la progettazione architettonica di siti potenzialmente trasformabili in nuovi punti freschi a Corvetto, dando priorità alle aree con basse prestazioni ambientali secondo il PGT 2030 di Milano. È stata selezionata la via Ravenna, una via residenziale che vie-

portable (Höppe, 1999). Slightly higher values may indicate mild discomfort, while temperatures significantly above this range are associated with severe heat stress. In The Netherlands, municipalities use high resolution PET raster maps to identify these spaces (Koopmans *et al.*, 2020). Instead, for Milan, this study mapped tree-covered existing green areas and conducted on-site measurements using Kestrel® 5400 (Klok *et al.*, 2021) devices to calculate PET values.

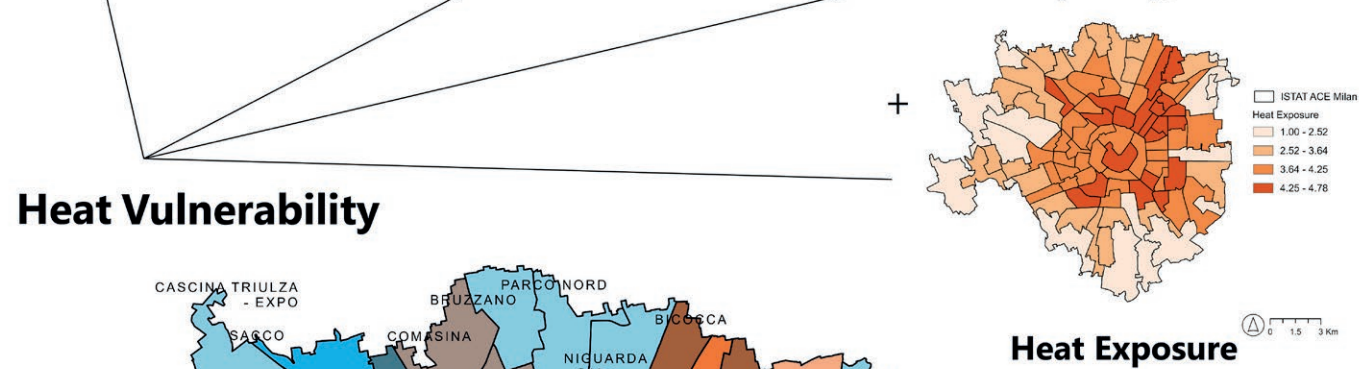
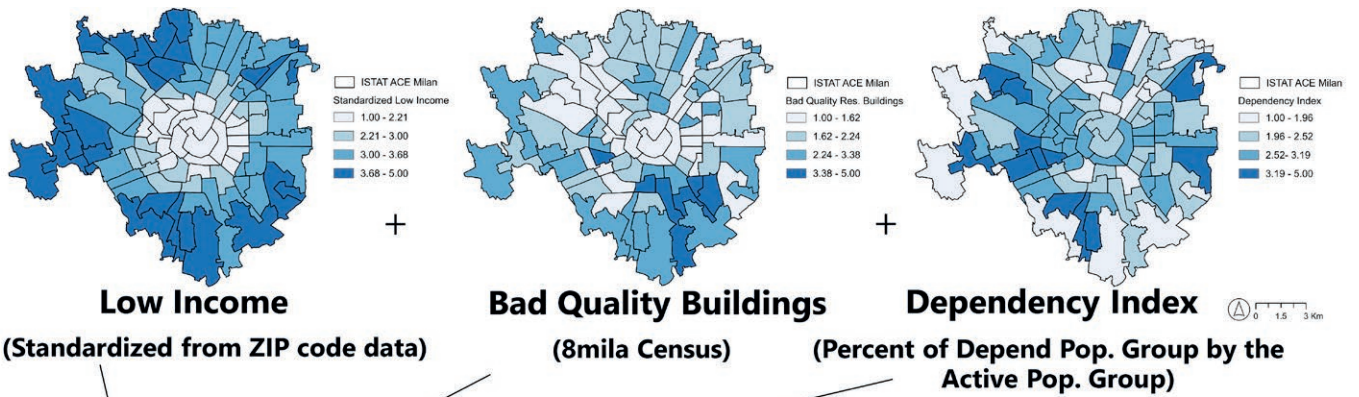
The Corvetto neighbourhood was selected to apply the methodology highlighted in this paper. Located in south-east Milan, Corvetto is characterised by the prevalence of public housing. This marginal urban area transitions between the compact city and the green belt, bordered by Parco Agricolo Sud to the south and Porto di Mare to the east. Several areas meeting the cool spot

criteria were identified in Corvetto. Spaces smaller than 200 square metres were also included due to their strategic public use potential. These include Piazzale Gabrio Rosa, Parco Pubblico S. Caviglia, Area Verde Buca, Piazza Bonomelli, Giardino Pubblico Nervesa (Parco Rosso), and Parco Verde in Via Longanesi-Nervesa (Fig. 3).

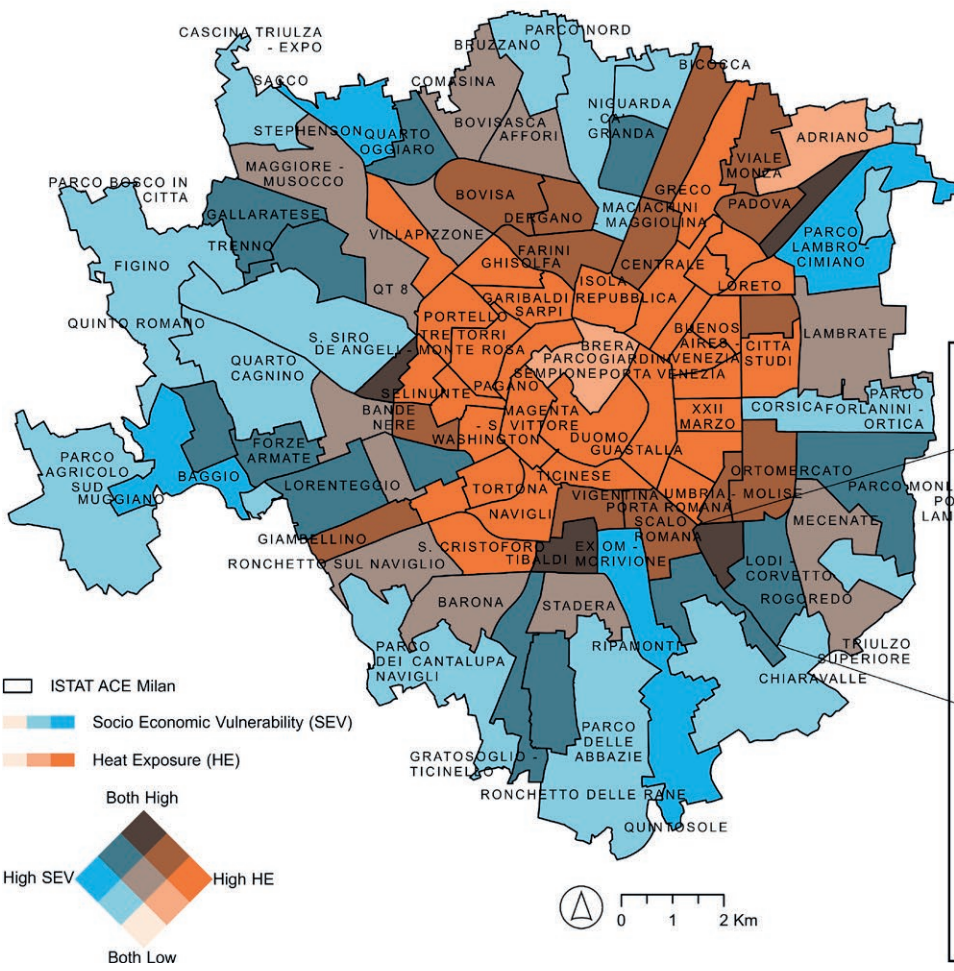
Measurements conducted on 4-5 June 2024, using two Kestrel® 5400 trackers, evaluated these spaces against Kluck *et al.*’s criteria. Table 1 summarises these results.

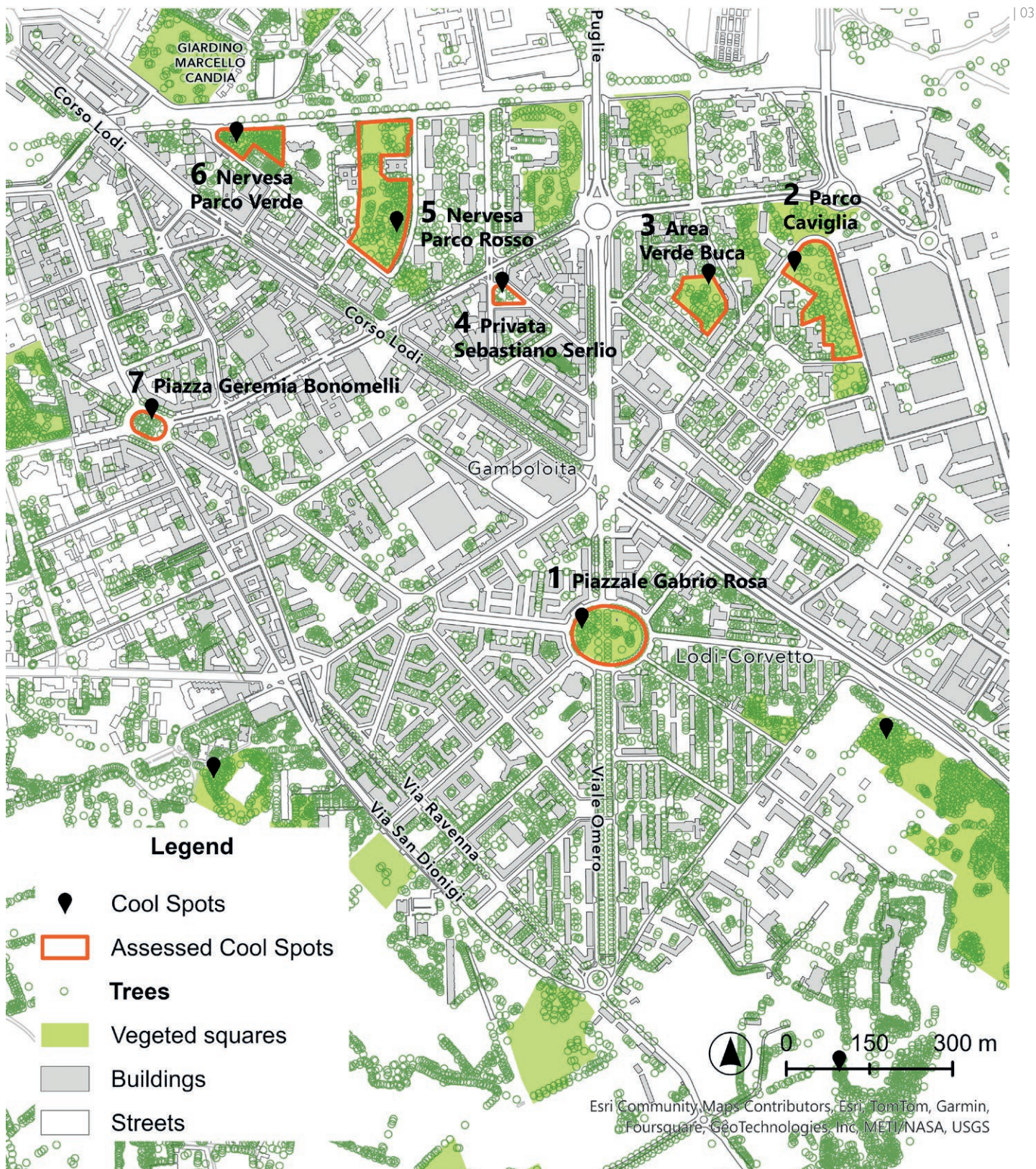
In Step 3, ArcGIS Pro’s “Service Area Network” tool was used to map the 300-metre walking distance area from these cool spots, accounting for road network conditions, barriers, and pedestrian pathways (Fig. 4). The 300-metre standard, based on several studies (Coffin and Morrall, 1995; Nuijten, 2008), aims to guarantee that,

02 |



Heat Vulnerability





Tab. 01 | Risultati della campagna di misure in differenti aree verdi del quartiere Corvetto a Milano in 2 giorni del mese di giugno 2024
 Data gathered during the 2-day microclimatic field survey, in June 2024

Tab. 01 |

Location	Air. Temp.		Rel. Hum.		Wind Speed		MRT		PET**	
	°C		%		m/s		°C		°C	
04-Jun-24										
Ref. station: Via Juvarra* Average H.3-6 pm:	24.5		46.9		1.0					
	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade
1 Piazzale Gabrio Rosa	35.3	26.3	36.7	46.5	0.0	0.0	50.3	30.3	43.7	26.8
2 Parco Caviglia	36.5	24.9	36.7	54.9	0.0	0.4	40.9	28.0	39.2	24.8
3 Area Verde Buca	34.2	27.2	35.3	49.4	0.0	0.0	38.3	24.2	36.3	24.7
05-Jun-24										
Ref. station: Via Juvarra* Average H.1-3 pm:	25.5		48.1		1.8					
	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade	Sun	Shade
4 Privata Sebastiano Serlio	27.4	24.5	51.0	55.0	0.2	0.7	50.6	26.5	40.0	23.2
5 Nervesa Parco Rosso	28.1	25.1	52.2	57.8	0.2	0.6	55.2	26.7	42.7	24.0
6 Nervesa Parco Verde	27.5	25.8	55.0	55.7	0.2	0.5	55.4	28.0	42.9	25.5
7 P.zza Geremia Bonomelli	28.7	25.8	54.0	56.0	0.2	0.8	54.8	28.5	43.2	24.8

* ARPA (Lombardy Regional Agency for Environmental Protection)

** Thermal comfort's range 9°C<PET<26°C. Thermal comfort is possible for PET<29°C for certain adapted groups

ne percorsa dai residenti per andare a prendere il bus, per andare alla vicina area giochi e al mercato coperto. È particolarmente esposta al calore e priva di punti freschi nelle vicinanze (Fig. 5). Questa strada lunga 750 metri presenta diversi spazi sottoutilizzati adatti a ricevere Nbs per creare “isole fresche” ad uso pubblico.

Le simulazioni realizzate con il software ENVI-met V5, condotte nell'ambito del progetto SOLOCLIM hanno valutato le prestazioni di raffrescamento di vari WBS, in particolare – nebulizzatori, getti d'acqua, stagni e pareti d'acqua verticali. I risultati indicano riduzioni della temperatura dell'aria di 3-6°C con nebulizzatori, 5-7°C con getti e 2-5°C con pareti d'acqua. Il raffrescamento WBS si dimostra efficace su piccola scala, offrendo sollievo immediato, promuovendo interazioni sociali e aumentando l'attrattività degli spazi urbani.

Sulla via Ravenna sono state individuate tre tipologie di spazi differenti per dimensione, configurazione e uso, che si trovano all'inizio, alla fine e a metà via.

within a 5-minute walk, vulnerable groups, such as the elderly, children or disabled individuals can rest and cool down during extreme heat events while they walk to public equipment and services (such as schools, public offices, a pharmacy or a supermarket) located in the neighbourhood.

Urban Oases Redefined: Harnessing the Potential of Public Spaces

The next step focuses on the small urban design scale of identified potential sites to be turned into new cool spots in Corvetto, prioritising areas with low environmental performance as per Milan's PGT 2030. Via Ravenna, a road used by the residents to access bus stops, a playground, and schools. It is notably heat-exposed and lacks nearby cool spots (Fig. 5). This 750-metre-long street features several underutilised spaces suitable to receive Nbs to

create “cooling islands” for public use. Simulations using ENVI-met V5 conducted during the SOLOCLIM project evaluated the cooling performance of various WBS-misting systems, jets, ponds, and vertical water walls. The results indicate air temperature reductions of 3-6°C with misting systems, 5-7°C with jets, and 2-5°C with water walls. Water-based cooling can be effective on a very small scale, offering immediate relief while fostering social interactions and increasing the overall attractiveness of urban areas. Three types of areas were identified along the street, varying in size, configuration, and use, located at the beginning, roughly in the middle, and at the end.

1. The bus stop at the beginning of Via Ravenna presents an ideal water-misting cool spot opportunity.
2. Midway along the street, a playground with sparse tree cover could

1. La fermata dell'autobus all'inizio di Via Ravenna rappresenta un'opportunità ideale per un punto fresco con nebulizzatori d'acqua.
2. A metà della strada, un'area giochi con copertura arborea scarsa potrebbe beneficiare di getti d'acqua a terra, creando un'oasi fresca” per bambini e accompagnatori, rappresentando un'ulteriore occasione di gioco e attrattività dello spazio.
3. In Piazza Angilberto II (Fig. 6), un'area parcheggio recentemente riqualificata attraverso il programma di urbanistica tattica milanese Piazze Aperte, presenta poco ombreggiamento, ma diverse opportunità per un miglioramento microclimatico. Poiché gli alberi richiedono tempo per crescere e fornire un'adeguata ombra, l'area potrebbe essere migliorata introducendo WBS, aumentando l'attrattività e la vivibilità dello spazio (Pereira Guimarães and Dessì, 2022).

La Piazza Angilberto è stata simulata per 48 ore in giorni tipicamente caldi di giugno (22-23.06) utilizzando ENVI-met 5 per valutare l'efficacia dell'introduzione di vari sistemi. È stato fatto

benefit from ground jets, creating a “bubble of freshness” for children and caregivers.

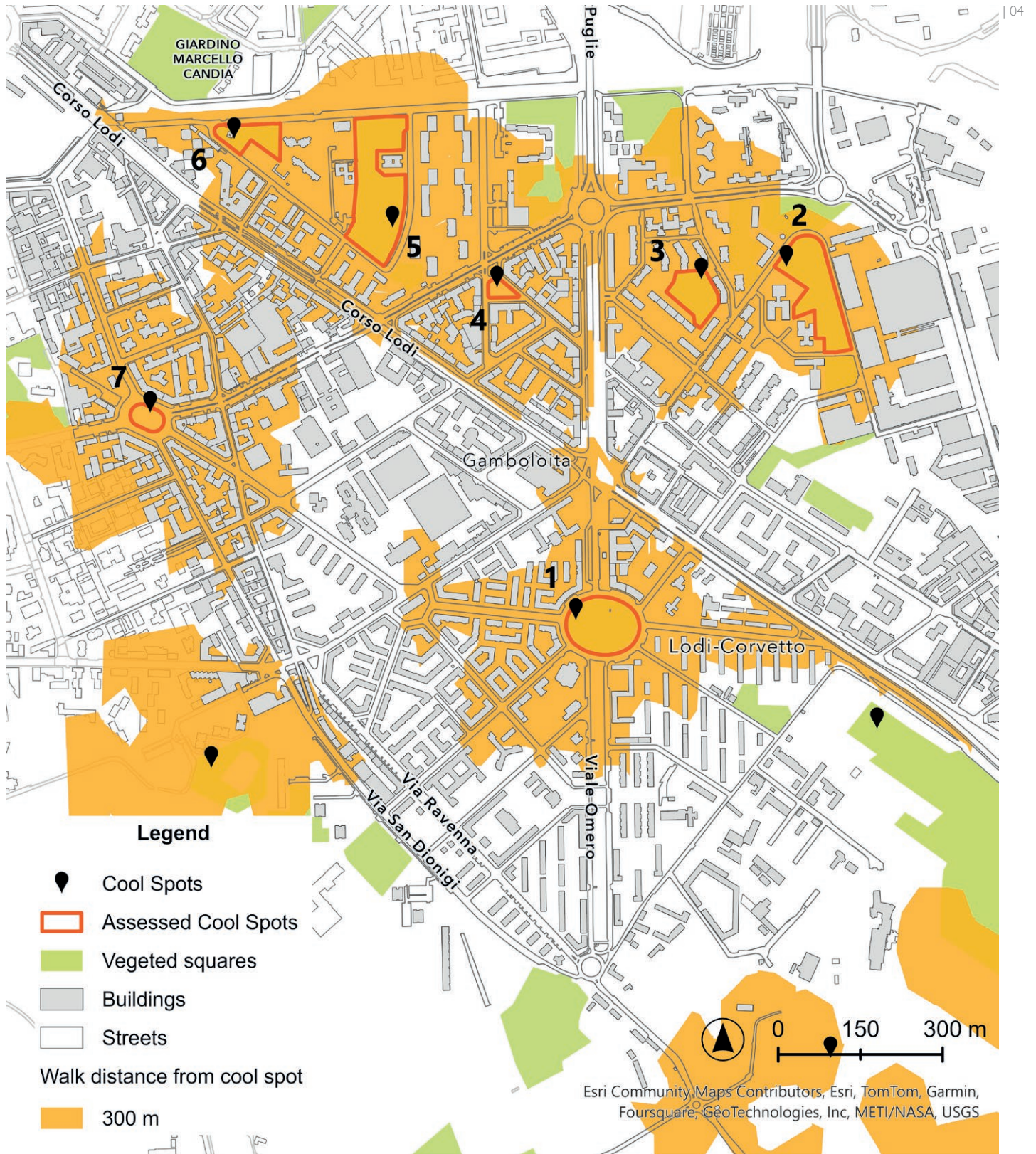
3. At Angilberto II Square (Fig. 6), a recently repurposed parking area through the Open Squares tactical urbanism municipal programme, has minimal shade and presents several opportunities for enhanced cooling. Since trees take time to grow to provide adequate shade, the area could be improved by introducing water-based solutions, enhancing its attractiveness and liveability.

Angilberto square was simulated over 48 hours on a couple of typical hot days late in June (EPW file for Milano Linate airport) using ENVI-met V5 to assess the effectiveness of introducing various systems. A comparison was made between the current condition and a proposed design incorporating

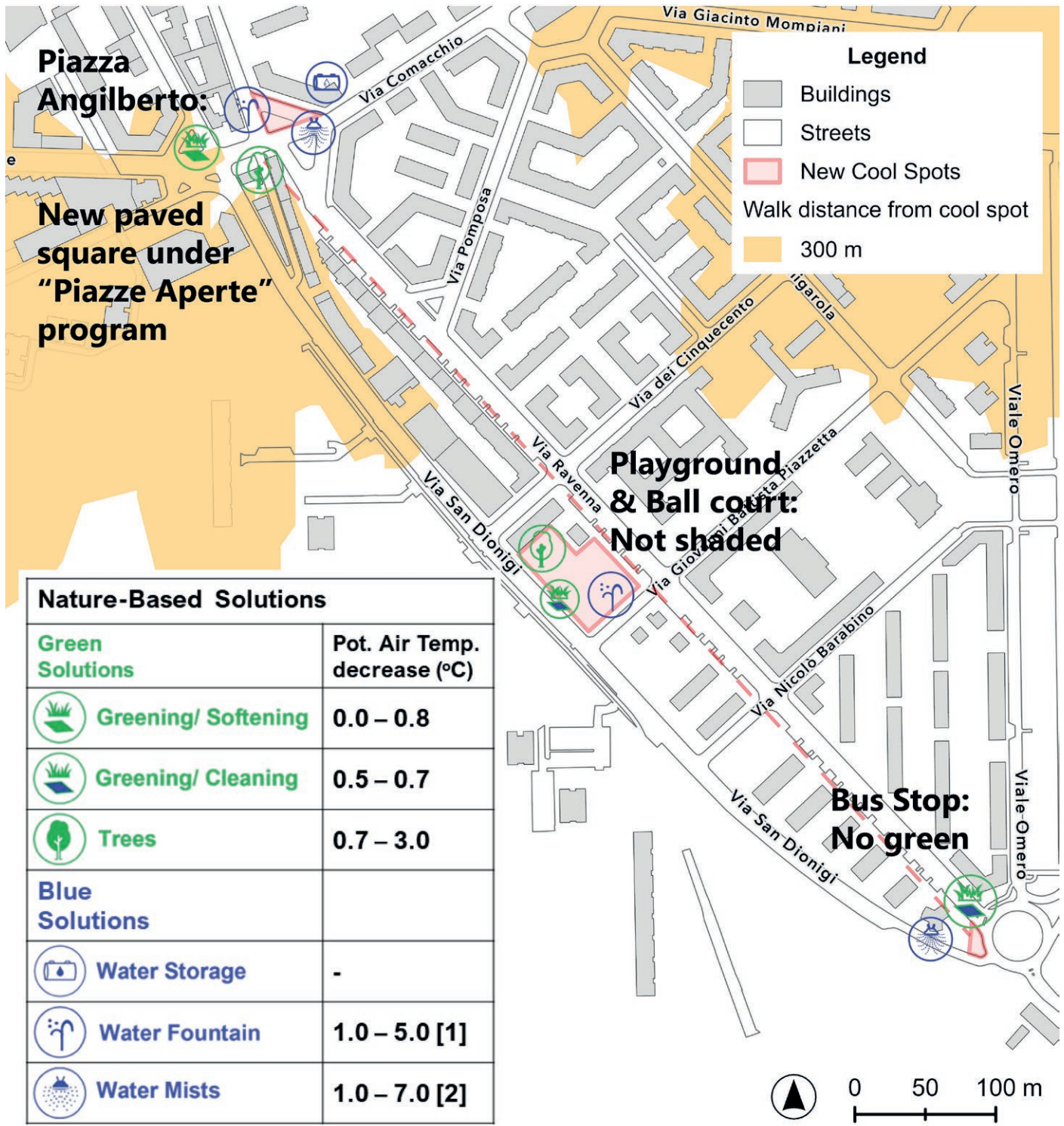
Nbs, such as an additional tree, misting systems along the façade of the shops, water jets on the square, and new vegetated surfaces. Figure 7 illustrates the improvements achieved in terms of both air temperature and PET. The simulation results for the 14.00 hs show reductions in air temperature of almost 10°C and improvements in terms of PET from 3-10°C in the new square, drastically enhancing the perceived comfort for users of this outdoor space.

Conclusions

This research introduces a trans-scalar methodology to enhance overall urban resilience through public space interventions. By mapping environmental and socio-economic vulnerabilities at the neighbourhood scale, the study identifies critical areas for targeted Nbs measures. These interventions



05 |



[1] Xue, F. et al., 2014; [2] Ulpiani, G. et al., 2019; literature and from ENVI-met simulations carried out for Milan's 2018 summer

Esri Community Maps Contributors, Esri, TomTom, Garmin, Foursquare, GeoTechnologies, Inc, METI/NASA, USGS

un confronto tra la condizione attuale e una proposta progettuale che incorpora NbS, come un nuovo albero, nebulizzatori lungo la facciata dei negozi, getti d'acqua nella piazza e nuove superfici vegetate. La figura 7 illustra i miglioramenti ottenuti in termini di temperatura dell'aria e PET. I risultati della simulazione alle ore 14:00 mostrano riduzioni della temperatura dell'aria di quasi 10°C e miglioramenti del PET di 3-10°C nella nuova piazza, migliorando drasticamente il comfort percepito dagli utenti di questo spazio esterno.

Conclusioni

Questa ricerca introduce una metodologia trans-scalare per migliorare la resilienza urbana complessiva attraverso interventi negli spazi pubblici. Mappando le vulnerabilità ambientali e socio-economiche alla scala del quartiere, lo studio identifica aree critiche dove implementare NbS per il miglioramento del microclima. Questi interventi non solo migliorano il comfort termico locale, ma rappresentano anche il punto di partenza per una rete integrata più ampia in grado di mitigare le isole di calore urbane, supportando benessere e vivibilità.

Il paper ha anche messo in evidenza l'importanza di riconoscere le potenzialità degli spazi con caratteristiche fisiche e funzionali specifiche ai quali è opportuno associare le NbS più adatte, in modo da generare una costellazione di oasi fresche all'interno del quartiere che le persone possono utilizzare nell'arco della giornata. La flessibilità dell'approccio offre opportunità di applicazione nelle città europee che affrontano simili problematiche, con potenziali adattamenti a contesti globali, incluse aree con risorse limitate o in rapida urbanizzazione. A seconda delle zone climatiche o delle disponibilità locali, infatti, potrà essere valorizzata

improve localised thermal comfort and form the starting point for a potentially broader connected network that mitigates UHI, supporting well-being and liveability. Additionally, it also emphasised the importance of identifying spaces with specific physical and functional characteristics, where the most suitable NbS can be applied, creating a network of cooling oases within the neighbourhood.

The approach's flexibility offers opportunities for application across European municipalities facing similar challenges, with potential adaptations to other global contexts, including resource-constrained or rapidly urbanising areas. Depending on climate and resource availability, some solutions may be more suitable than others. In hot, dry climates with enough water, WBS may be prioritised over vegetation. In areas presenting scarce

resources, it is also crucial to optimise water use. However, it is important to remember that, especially with the increase in heat intensity in cities, a single strategy might reduce thermal stress (e.g. water) but is not sufficient to guarantee thermal comfort conditions.

Ensuring equitable access to cool spots within a 5-minute walk and leveraging simulations to guide informed interventions aligns urban design with long-term climate adaptation strategies.

While the methodology is robust, its reliance on high resolution data and advanced simulations may also limit immediate implementation in data-scarce regions or the absence of specific professional skills.

Given the significance of the issue, it will be crucial in the future to ensure the widespread availability of docu-

mentation, tools, and methods that can support its adoption by public administrators and designers. Future research should explore how to incorporate low-cost tools and community-driven approaches into this framework, enhancing its accessibility and effectiveness in diverse urban settings.

una risorsa o un'altra, per esempio l'acqua in climi caldi secchi con disponibilità idriche adeguate, invece che la vegetazione anche in zone a clima più umido. L'uso dell'acqua potrebbe rappresentare un problema nel caso di scarsità della risorsa. Per questo motivo è importante ottimizzare il suo utilizzo, e scegliere il sistema giusto.

Garantire un accesso equo ai punti freschi e alle nuove oasi urbane entro 5 minuti a piedi e utilizzare simulazioni per orientare in maniera consapevole gli interventi permette di mettere a sistema le esigenze del progetto architettonico dello spazio urbano con le soluzioni per l'adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici a lungo termine. È tuttavia importante ricordare che, soprattutto con l'aumentare dell'intensità del calore nelle città, una sola strategia riduce lo stress termico ma non è sufficiente a garantire condizioni di comfort termico. Sebbene la metodologia sia solida, la sua dipendenza da dati ad alta risoluzione, anche provenienti da simulazioni sofisticate, potrebbe limitarne l'applicazione in regioni con scarsa disponibilità di dati o in assenza di competenze professionali specifiche. Vista l'importanza del tema, sempre più in futuro sarà opportuno garantire la diffusione di documentazione, strumenti e metodi per facilitarne l'uso da parte delle pubbliche amministrazioni e dei progettisti, così da ampliarne l'accessibilità e l'impatto in realtà urbane diverse.

ATTRIBUZIONE

Questa ricerca è stata finanziata dal programma EU Horizon 2020 (Grant Agreement No. 861119) nell'ambito dell'iniziativa di ricerca H2020-MSCA-ITN EID SOLOCLIM-EU. Fa inoltre parte della tesi di dottorato del primo autore.

mentation, tools, and methods that can support its adoption by public administrators and designers. Future research should explore how to incorporate low-cost tools and community-driven approaches into this framework, enhancing its accessibility and effectiveness in diverse urban settings.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the EU Horizon 2020 programme (Grant Agreement No. 861119) as part of the H2020-MSCA-ITN EID SOLOCLIM-EU research initiative. It also forms part of the first author's PhD thesis.

NOTES

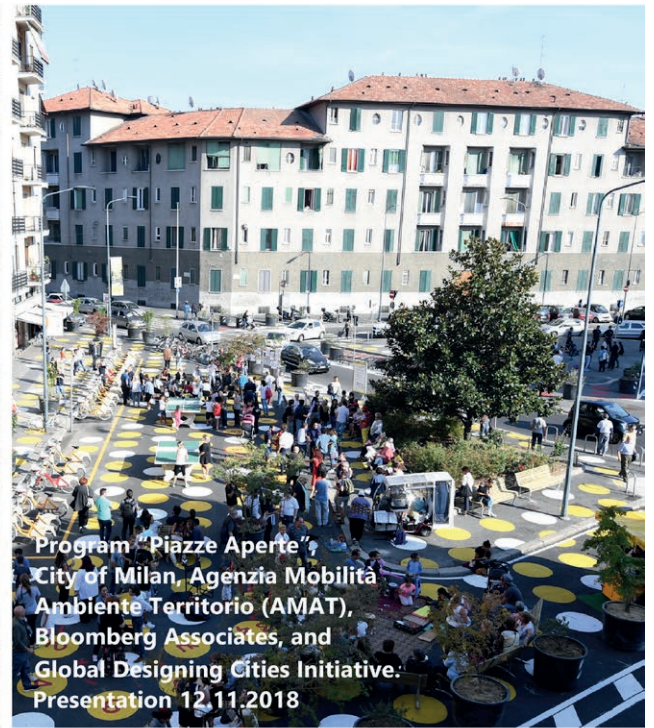
¹ The research H2020- MSCA- ITN EID SOLOCLIM includes European Industrial Doctorate programmes (EID), and it is one of the possible

ITN, i.e. Innovative Training Networks as part of Marie Skłodowska-Curie Actions funded by the European Commission within the Horizon 2020 programme. www.soloclim.eu. The research part reported in this paper is also the topic of the first author's PhD thesis.

² VITO is a Flemish research organisation based in Belgium, specialising in translating scientific knowledge into technical solutions.

³ ArcGIS Pro is a geospatial platform developed by ESRI that integrates data across geographic context.

06 |

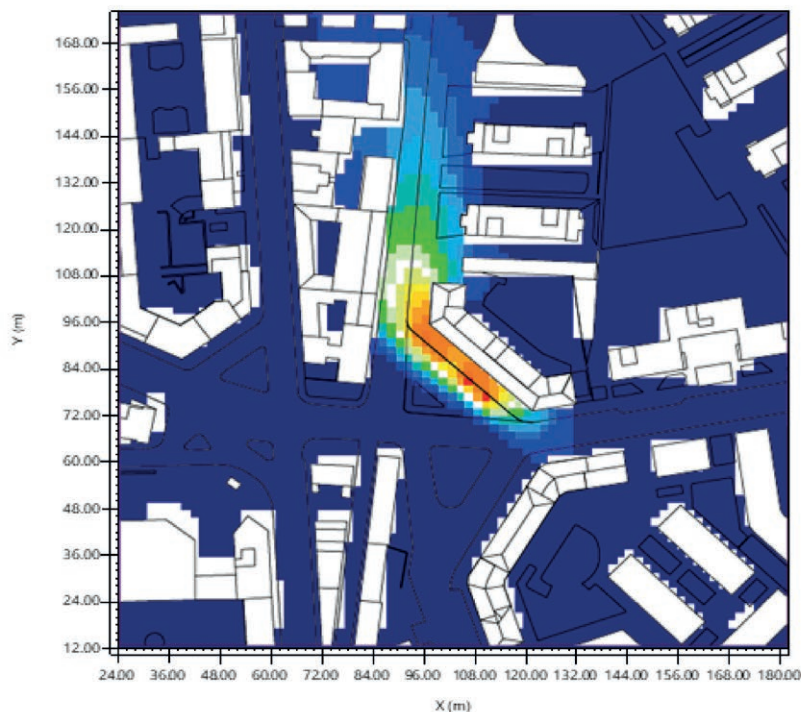


Program "Piazze Aperte",
City of Milan, Agenzia Mobilità
Ambiente Territorio (AMAT),
Bloomberg Associates, and
Global Designing Cities Initiative.
Presentation 12.11.2018

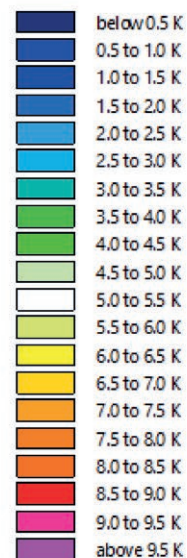


City of Milan, Agenzia Mobilità Ambiente Territorio (AMAT), in collaboration with Bloomberg Associates and the Global Designing Cities Initiative.

Comparison 14.00 23.06.18 Reduction Air Temp.: 8.5 K



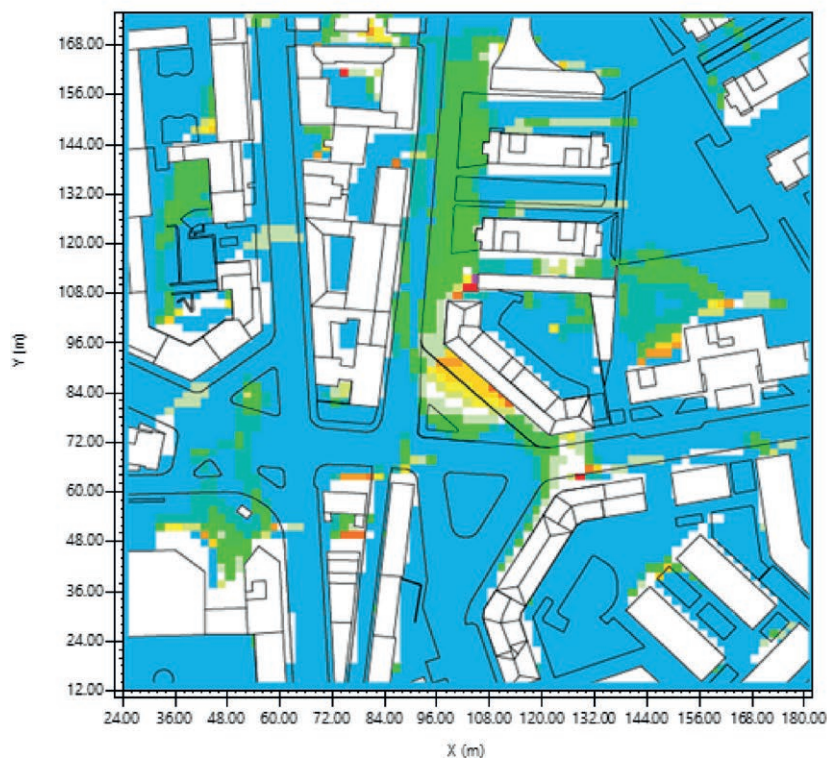
absolute difference Air Temperature



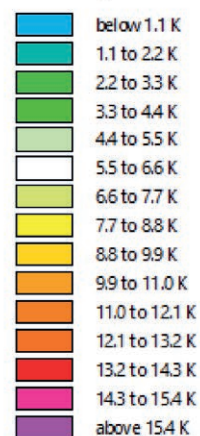
Min: -0.5 K
Max: 8.5 K



Comparison 14.00 23.06.18 PET: 15.6 K



absolute difference PET



Min: -9.9 K
Max: 15.6 K



NOTE

¹ La ricerca H2020- MSCA- ITN EID SOLOCLIM prevede l'attivazione di dottorato industriali (EID) e si inserisce nel programma ITN (Innovative Training Networks), parte delle attività MSCA (Marie Skłodowska-Curie Actions). www.soloclim.eu. La parte riportata nel paper è anche il tema sviluppato nella tesi di dottorato del primo autore del paper.

² VITO è un'organizzazione di ricerca fiamminga con sede in Belgio, specializzata nella traduzione delle conoscenze scientifiche in soluzioni tecniche.

³ ArcGIS Pro è una piattaforma geospaziale sviluppata da ESRI, che integra dati attraverso il contesto geografico.

REFERENCES

- Cremonini, L. et al. (2023), "Tools for urban climate adaptation plans: A case study on Bologna and outcomes for heat wave impact reduction," *Challenges*, Vol. 14, n. 4, article 48. Available at: <https://dx.doi.org/10.3390/chal14040048> (Accessed on 22/11/2024).
- Coffin, A.M. and Morral, J., (1995), "Walking speeds of elderly pedestrians at crosswalks," *Transportation Research Record*, Vol. 1487, pp. 63-67. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1487/1487-010.pdf> (Accessed on 21/05/2023).
- De Ridder, K., Lauwaet, D. and Maiheu, B. (2015), "UrbClim – A fast urban boundary layer climate model," *Urban climate*, Vol. 12, pp. 21–48. Available at: <https://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.01.001> (Accessed on 22/11/2024).
- European Environment Agency – EEA (2020), *Report No 12/2020: Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe> (Accessed on 13/02/2021).
- Gobster, P. H. (2001), "Neighbourhood – Open Space Relationships in Metropolitan Planning: A look across four scales of concern," *Local environment*, Vol. 6, n. 2, pp. 199–212. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/13549830120052827> (Accessed on 22/11/2024).
- Höppe, P. (1999), "The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment," *International Journal of Biometeorology*, Vol. 43, n. 2, pp. 71–75. Available at: <https://dx.doi.org/10.1007/s004840050118> (Accessed on 22/11/2024).
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2018), *Summary for Policymakers*. In: *Global Warming of 1.5°C*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, pp. 1-32. Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> (Accessed on 20/01/2021).
- Klok, L. et al. (2021), "Application and performance of Kestrel sensors for assessing thermal comfort in outdoor built environments." *EGU General Assembly 2021, online, April 19–30, 2021, EGU21-13237*. Available at: <https://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13237> (Accessed on 09/12/2022).
- Kluck, J. et al (2020), Report: *De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte* (in Dutch) [The heat-resistant city: A cool look at the design of the outdoor space]. Amsterdam University of Applied Sciences. Available at: <https://edepot.wur.nl/522616> (Accessed on 23/10/2022).
- Koopmans, S. et al. (2020), Report: *Validatierapport Landelijke hittekaart* (in Dutch) [National Heat Map Validation Report]. Wageningen University, Meteorology and Air Quality Section, pp. 1–26. Available at: https://www.klimaat-effectatlas.nl/1/nl/library/download/urn:uuid:c13d0006-131b-4d90-8f2be1c6834d2d6d/validatierapport+landelijke+hittekaart_wur_wb_9juli2020.pdf? (Accessed on 09/12/2022).
- Martello, M.A. et al (2008), "Effetti sulla salute delle ondate di calore" (in Italian) [Health effects of heat waves]. *Igiene e sanità pubblica*, Vol. 64, n. 6, pp. 735–772. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19219085/> (Accessed on 09/12/2023).
- Nuijten, D., (2008). "Verplichte vergroening? Onderzoek naar de toepassing van het richtgetal van 75 m² groen per woning uit de Nota Ruimte en de relatie met de kwaliteit van het groen in de stad" (in Dutch) [Mandatory greening? Research into the application of the guideline figure of 75 m² of green space per home from the Spatial Planning Policy Document and the relationship with the quality of greenery in the city]. *Masterproef Sociaal-Ruimtelijke Analyse [Master's thesis Social-Spatial Analysis]*, Wageningen University, pp. 1–117. Available at: <https://edepot.wur.nl/117429> (Accessed on 12/03/2024).
- Pascal, M. et al. (2021) "Greening is a promising but likely insufficient adaptation strategy to limit the health impacts of extreme heat," *Environment International*, Vol. 151, article 106441. Available at: <https://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2021.106441> (Accessed on 22/11/2024).
- Pereira Guimarães, M., Dessì, V. (2022), "A Multi-functional Design Approach to Deal with New Urban Challenges". In *Sustainability in Energy and Buildings 2021*. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 263. Springer, Singapore. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_33 (Accessed on 22/11/2024)
- Pasqui, G. (2022) "Inequalities: Peripheries," in *Coping with the Pandemic in Fragile Cities*. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. Cham: Springer International Publishing, pp. 45–54. Available at: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-93979-3_5 (Accessed on 22/11/2024).
- Ulpiani, G., di Perna, C. and Zinzi, M. (2019) "Water nebulization to counteract urban overheating: Development and experimental test of a smart logic to maximize energy efficiency and outdoor environmental quality," *Applied Energy*, Vol. 239, pp. 1091–1113. Available at: <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.231> (Accessed on 22/11/2024).
- Xue, F. et al. (2015) "Modeling the influence of fountain on urban microclimate," *Building Simulation*, Vol. 8, n. 3, pp. 285–295. Available at: <https://dx.doi.org/10.1007/s12273-014-0210-7> (Accessed on 22/11/2024).
- World Health Organization (2016). Report: *Urban green spaces and health*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Document number: WHO/EURO:2016-3352-43111-60341. Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/345751>(Accessed on 22/05/2020).
- Zinzi, M. et al. (2020) "On the thermal response of buildings under the synergic effect of heat waves and urban heat island," *Solar Energy*, Vol. 211, pp. 1270–1282. Available at: <https://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.050> (Accessed on 22/11/2024).