

## Diffusione urbana e Cambiamento Climatico: percorsi di (in)sostenibilità a livello locale?

Sullo sfondo

Giuseppe Forino, Luigi Perini, Luca Salvati<sup>1</sup>

**Riassunto.** *Le città sono gli insediamenti umani più vulnerabili agli impatti del clima. Nelle aree urbane il cambiamento climatico è esacerbato da regimi termometrici più netti e precipitazioni più intense rispetto ad aree rurali o extraurbane. Ciò è dovuto all'influenza che forme e strutture urbane esercitano sul clima locale, accentuando le onde di calore e modificando i regimi delle precipitazioni temporalesche. In particolare, i modelli insediativi della città 'diffusa' rendono 'urbani' spazi precedentemente rurali, con un elevato grado di frammentazione abitativa e infrastrutturazione del territorio. Ciò implica costi rilevanti di funzionamento relativi a consumi energetici, impermeabilizzazione del suolo, aumento della domanda di trasporti, inquinamento. Questo può accrescere la vulnerabilità urbana agli impatti del cambiamento climatico. Il contributo ha lo scopo di esplorare alcuni effetti potenziali che la crescita urbana esercita sul bilancio termico e sul clima alla scala urbana. Lo studio si sofferma dapprima su alcuni concetti base per lo studio del clima urbano. Successivamente, si descrivono gli effetti potenziali della forma urbana diffusa sull'aumento di temperatura e sulle precipitazioni estreme lungo il gradiente urbano. Infine, il lavoro discute sulla necessità di utilizzare metodologie di analisi meteo-climatiche specifiche per il clima urbano e di predisporre strategie di adattamento urbano al cambiamento climatico.*

**Parole-chiave:** *clima urbano, diffusione urbana, isola di calore urbana, gradiente urbano, adattamento al cambiamento climatico.*

**Abstract.** *Among human settlements, cities are the most vulnerable to climate impacts. In urban areas, climate change is exacerbated by sharper thermal regimes and heavier rainfall compared to suburban or rural areas. This is due to the influence urban forms and structures have on local climate, aggravating the heat waves and modifying the rainfall patterns. In particular, the settlement models of the 'sprawling' city change into 'urban' some originally rural areas, with a high degree of housing and infrastructure fragmentation. This implies increasing operation costs related to energy consumption, soil sealing, arising transport demand and pollution. This can increase the urban vulnerability to the impacts of climate change. The paper aims at exploring some of the potential effects urban growth exerts on thermal balance and climate at the urban scale. Initially, the paper reports a few basic concepts for the study of urban climate. Then, it describes the potential effects of the sprawling urban form on temperature rise and extreme rainfall along the urban-rural gradient. Finally, it discusses the need to use techniques of weather and climate analysis specific for urban climate and to develop strategies of urban adaptation to climate change.*

**Keywords:** *urban climate, urban sprawl, urban heat island, urban-rural gradient, climate change adaptation.*

L'urbanizzazione è fenomeno ormai globale, tanto che le proiezioni delle Nazioni Unite sulla popolazione urbana indicano il raggiungimento della quota di cinque miliardi nel 2030. Le città, oltre ad essere essenziali attori economici e culturali globali, sono vulnerabili agli impatti del cambiamento climatico quali alluvioni, siccità o onde di calore (HALLEGATTE, CORFEE-MORLOT 2011), a loro volta dipendenti da caratteristiche locali urbane quali topografia, struttura economica, organizzazione spaziale.

<sup>1</sup> Giuseppe Forino, Dottore di ricerca in Geografia economica e collaboratore di ricerca presso INEA Veneto, si occupa di ricostruzione post-disastro e di questioni ambientali negli ambienti urbani e rurali; e-mail: g.forino@gmail.com. Luigi Perini, Ricercatore agro-meteorologo presso il Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, si occupa ormai da molti anni di tematiche legate alla sostenibilità dei sistemi agricoli; email: luigi.perini@entecra.it. Luca Salvati, Ricercatore presso il Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, è stato Ricercatore dell'ISTAT e collabora con l'Università di Roma "La Sapienza" su temi legati allo sviluppo sostenibile; email: luca.salvati@entecra.it.

Le città rappresentano sistemi integrati e complessi di infrastrutture di trasporti, energia, acqua e servizi, la cui funzionalità può essere compromessa dagli impatti del cambiamento climatico, minando lo stesso funzionamento della città. Sono dunque necessarie misure specifiche di adattamento al cambiamento climatico alla scala urbana (HALLEGATTE, CORFEE-MORLOT 2011; HALLEGATTE ET AL. 2011; HUNT, WATKISS 2011), già percorse ad esempio da alcune esperienze europee (CASTÁN BROTO, BULKELEY 2013) con lo scopo non solo di riequilibrare i regimi bioclimatici, ma di intervenire a più ampio raggio sull'organizzazione sociale e spaziale, sulle attività di *policy-making* e sulla comunicazione e diffusione di comportamenti virtuosi nella vita quotidiana degli abitanti.

Le condizioni climatiche delle città sono significativamente diverse rispetto ad altre aree antropizzate, in particolare per gli effetti della cosiddetta 'isola di calore urbana' o *Urban heat island* (UHI), che configura l'ambiente urbano come 'isola bioclimatica' in cui hanno luogo specifici eventi termici e meteo-climatici. Fattori strutturali dell'UHI sono: la percentuale di albedo espressa dalle superfici urbane; la capacità termica dei materiali di rivestimento del suolo e delle superfici; forma, orientamento e ventilazione delle costruzioni; la riduzione delle superfici evaporanti. Questi fattori creano una sorta di cupola di calore di 150-200 metri che, in particolare in inverno e nelle ore notturne, determina una 'inversione termica in quota' (fig.1). Fattori aggiuntivi sono inoltre la produzione attiva di calore da impianti di climatizzazione, il traffico veicolare, le produzioni di gas combustibili e incombusti e le attività metaboliche degli abitanti (OKE 1982; ARNFIELD 2003; SALVATI, FORINO 2014).

Le recenti dinamiche urbane globali hanno portato la tradizionale città 'compatta' a perdere i suoi connotati specifici per adottare il modello insediativo di città 'diffusa' (GEMMITI, SALVATI 2011), che presenta elevato grado di frammentazione (o dispersione) abitativa e infrastrutturazione. Questo implica la trasformazione di spazi prima rurali in 'urbani', con rilevanti oneri di funzionamento in termini di consumi energetici, impermeabilizzazione dei terreni, aumento della domanda di trasporti e dell'inquinamento. Ciò può, pertanto, accrescere la vulnerabilità di tali aree, ora urbane, agli impatti del cambiamento climatico. Il contributo ha lo scopo di esplorare alcuni effetti potenziali che la crescita urbana esercita sul bilancio termico e sul clima alla scala urbana. Inizialmente riporta alcuni concetti base per lo studio del clima urbano. Successivamente, descrive gli effetti potenziali della forma urbana diffusa sull'aumento di temperatura e sulle precipitazioni estreme lungo il gradiente urbano-rurale. Infine, riflette e discute sulla necessità di utilizzare metodologie di analisi meteo-climatiche specifiche per il clima urbano e di predisporre strategie di adattamento urbano al cambiamento climatico.

## 1. Il bilancio termico nelle aree urbane

L'energia radiante emessa dal sole che raggiunge la superficie della Terra è costituita da radiazioni elettromagnetiche a onda corta. Parte di tale energia viene assorbita e poi rimmessa come radiazione a onda lunga (infrarosso, ovvero termica) nell'atmosfera. L'aria è quindi riscaldata principalmente dalle emissioni del suolo e non direttamente dal sole. Nel caso di una superficie naturale, come ad esempio un prato, il bilancio termico è dato da:

$$1) Q + H + E + G = 0$$

dove  $Q$  è la radiazione netta nelle lunghezze d'onda,  $H$  il calore sensibile, assorbito o trasmesso dall'aria o dalla superficie del suolo nel corso di una variazione di temperatura,  $E$  il calore latente, rilasciato o assorbito durante un cambiamento di stato dell'acqua,  $G$  il calore trasmesso dal terreno per conduzione.

Nelle aree urbane, invece, il bilancio termico è più complesso a causa della presenza delle strutture urbane. Alla formula prima citata bisogna pertanto aggiungere  $Q_p$ , che indica gli scambi di calore con le superfici stradali e degli edifici, e  $Q_f$ , che è il calore di induzione antropica generato dalla combustione di combustibili fossili. Gli apporti di calore dovuti a fenomeni di avvezione non sono considerati in quanto si è ipotizzato un tessuto urbano uniforme, utilizzato esclusivamente a fini residenziali, infrastrutturali o commerciali. Pertanto il bilancio termico in area urbana è:

$$2) Q + Q_p + H + E + Q_f = 0.$$

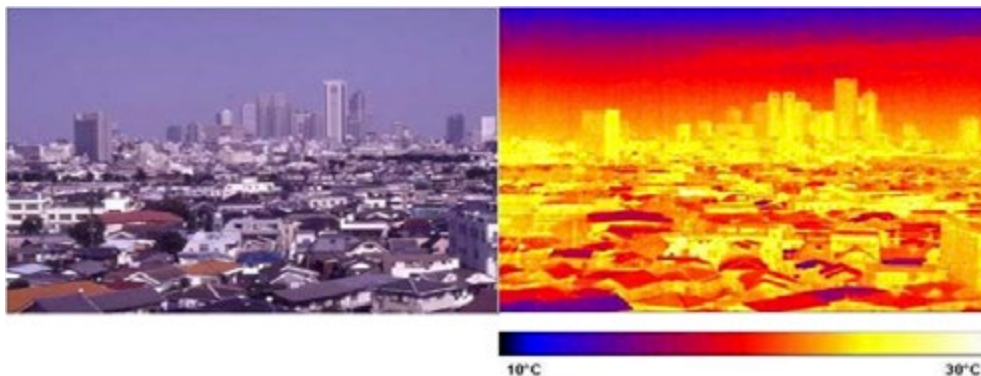


Fig. 1. Immagine fotografica (a sinistra) e termica (a destra) di un centro a densa urbanizzazione (Tokyo). L'immagine termica è stata ripresa nel mese di Ottobre, nel tardo pomeriggio. Fonte: <<http://publish.uwo.ca/~javooqt/urban%20climate%20.htm>>.

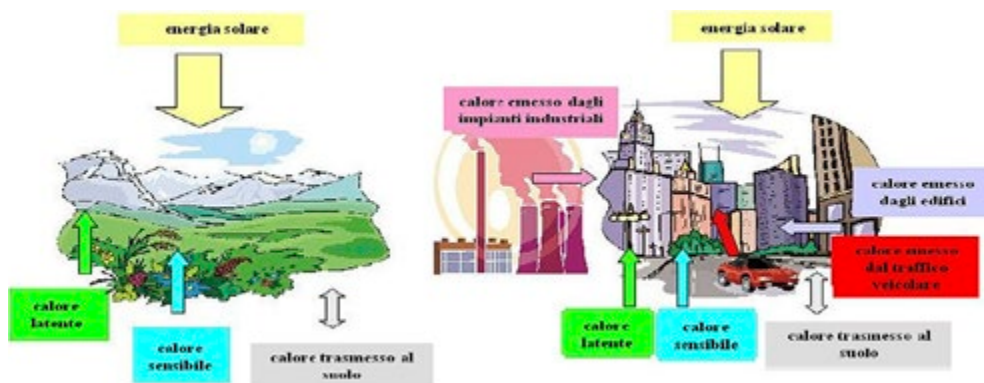


Fig. 2. Bilancio termico in ambiente naturale e in area urbana. Fonte: nostre elaborazioni su schema Urban Climate News Quarterly <[www.urbanclimate.org](http://www.urbanclimate.org)>.

I poli industriali prossimi alle città sono fonti di emissioni e accumulo di calore, come gli impianti siderurgici, che irradiano nell'atmosfera una media giornaliera di energia quattro volte maggiore di quella solare in entrata. Anche il riscaldamento domestico nei mesi invernali e gli impianti di climatizzazione nel periodo estivo introducono calore in atmosfera. Inoltre, buona parte dei materiali da costruzione di strutture e infrastrutture urbane ha elevata conducibilità termica, per cui in presenza di differenziali termici fra l'esterno e l'interno degli edifici si crea un flusso di calore che attraversa lo spessore delle mura da una superficie all'altra (dall'esterno verso l'interno e/o viceversa). Le aree urbane si raffreddano dunque più lentamente durante la notte rispetto a quelle non urbane. I materiali edili hanno inoltre elevata emittanza termica o potere di irraggiamento, ovvero la capacità di una superficie di accettare o rilasciare calore. Sono infine da considerare i processi di combustione dei motori endotermici (mezzi di trasporto, dispositivi di climatizzazione, macchine industriali) che, producendo emissioni di gas serra poi immesse in atmosfera, possono alterare lo scambio termo-radiativo con la superficie terrestre modificandone l'equilibrio termico finale. La domanda crescente di mobilità comporta dunque una crescita delle emissioni. Ad esempio, nel 2005 le emissioni dei trasporti hanno rappresentato il 20% delle emissioni di gas serra nell'Unione Europea (UE-25), mentre il trasporto su strada è responsabile del 93% delle emissioni totali del settore trasporti con circa 900 milioni di tonnellate di  $CO_2$ .

## Sullo sfondo

Nel periodo 1990-2002, il numero di chilometri su strada di passeggeri nell'UE-25 è aumentato del 26%, mentre il numero di automobili è aumentato del 35%, con circa quaranta vetture ogni 100 abitanti nell'UE-15.<sup>2</sup> Nello stesso periodo il numero di tonnellate di merci per chilometro è inoltre aumentato del 36%, mentre le emissioni di CO<sub>2</sub> da trasporto su strada sono cresciute del 18% (ISTVÁN 2010). La tabella 1 riporta, per alcuni Stati Membri dell'UE, un confronto fra emissioni di CO<sub>2</sub> e altre variabili connesse ad espansione urbana e crescita demografica nel periodo 1990-2000. Si riscontra una discreta proporzionalità fra aumento di emissioni, espansione urbana e PIL pro-capite, mentre la crescita demografica non mostra una netta relazione diretta alla maggiore produzione di emissioni.

Paese	Variazione fra il 1990 e il 2000			
	Emissioni di CO <sub>2</sub> per trasporti su strada (%)	Aree Urbane (%)	Prodotto interno lordo reale pro capite (%)	Popolazione (%)
Austria	37.9	3.1	23.0	5.1
Belgio	20.9	2.8	20.3	2.9
Danimarca	15.8	4.3	24.4	3.9
Francia	17.8	4.8	16.4	4.1
Germania	10.6	5.8	18.9	2.7
Grecia	25.7	13.8	19.3	8.2
Ungheria	6.0	1.5	24.2	-1.6
Irlanda	106.3	30.7	83.0	8.2
Italia	17.7	6.1	16.6	0.8
Olanda	24.5	22.4	28.2	6.5
Polonia	11.6	1.4	44.1	0.6
Portogallo	85.2	38.6	29.9	3.6
Spagna	46.5	25.1	27.7	3.6
Regno Unito	6.4	1.9	24.8	2.9

Tab. 1. Confronto fra variazioni di emissioni (CO<sub>2</sub>) e altre variabili nel periodo 1990-2000 per alcuni Stati Membri UE (fonte: ISTVÁN 2010).

## 2. Alcuni elementi caratteristici del clima urbano

Le aree urbane hanno una conformazione tridimensionale che riproduce una struttura simile a quella dei *canyon* naturali. Questo influenza l'assorbimento della radiazione solare e dunque la temperatura delle superfici, i tassi di evaporazione, la conservazione/irradiazione del calore e la direzione ed intensità del vento. Nel complesso, la quantità di radiazione solare ricevuta da un *canyon* urbano dipende dall'altezza degli edifici e dall'orientamento della strada. I materiali da costruzione hanno proprietà di emissione termica, riflessione e radiazione solare. Nel *canyon* urbano, come in quello naturale, può innescarsi il cosiddetto fenomeno di "intrappolamento" dell'energia solare per il quale, a causa dei reiterati riverberi da una parete all'altra del *canyon*, aumenta la frazione di energia assorbita dalle superfici. In generale circa il 60% della radiazione netta viene rilasciato nell'aria sotto forma di calore sensibile; il 30% è immagazzinato nelle superfici di strade e edifici; il 10% è utilizzato per l'evaporazione da aree verdi, corsi d'acqua o zone umide (SPRONKEN-SMITH ET AL. 2006). L'U<sub>HI</sub> è più intensa nelle ore notturne, inversamente proporzionale alla velocità del vento e alla copertura nuvolosa e meno evidente in estate. I campi di temperatura sono strettamente collegati alla superficie e alla conformazione degli edifici, alla copertura del suolo, alla presenza di vegetazione e irraggiamento di origine antropica (GIRIDHARAN ET AL. 2004; JONSSON 2004; UNGER 2004; JOHNSON, WILSON 2009).

<sup>2</sup> Nelle abbreviazioni "UE-15" e "UE-25", le cifre indicano il numero dei Paesi computati come appartenenti all'Unione europea: del primo raggruppamento, che annovera gli Stati membri fra il 1995 e il 2004, fanno parte Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi, Portogallo, Regno Unito, Spagna e Svezia, al secondo vanno invece aggiunti Cipro, Estonia, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia e Ungheria [N.d.R.].

Per analizzare le caratteristiche del clima urbano è dunque necessario il confronto con un sito di riferimento (sito 'rurale' o 'naturale'), tramite il quale desumere i tratti peculiari dell'UHI (HAWKINS ET AL. 2004; SAKAKIBARA, OWA 2005). Un'indagine effettuata sulla base dei criteri raccomandati dall'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM-WMO) su stazioni meteorologiche poste lungo il gradiente urbano a Roma (Collegio Romano vs. Aeroporto di Ciampino) e Milano (Brera-Duomo vs. Aeroporto di Linate) evidenzia comportamenti differenti tra temperature minime e massime. Per le prime, le differenze tra i valori registrati in e fuori città si attenuano leggermente nei mesi più caldi, permanendo comunque lungo tutto l'anno. Per le seconde, i valori sono invece maggiormente correlati e con un andamento quasi coincidente, con differenze significative solo in alcuni mesi (tab. 2). Ragione di ciò è il fatto che le temperature minime derivano da condizioni termiche espresse dallo strato di atmosfera più prossimo al suolo, mentre le temperature massime, dipendendo in genere da riscaldamento per convezione e conseguente rimescolamento della massa d'aria sovrastante il suolo, sono rappresentative delle condizioni termiche della troposfera (BELTRANO, PERINI 1997). Il discorso è analogo per il confronto tra temperature invernali ed estive, in relazione al lento rilascio di calore dal suolo e dalle altre superfici del tessuto urbano. Si può, pertanto, confermare che la differenza tra aree urbane ed extraurbane nelle ore diurne sia trascurabile, per poi aumentare gradualmente nelle ore serali e notturne.
















Mesi	Milano (Brera-Duomo vs Linate)				Roma (Collegio Romano vs Ciampino)			
	Tmax		Tmin		Tmax		Tmin	
	r	t-Student p<0.01	r	t-Student p<0.01	r	t-Student p<0.01	r	t-Student p<0.01
	Gen	0.91	*	0.79	*	0.92	*	0.93
Feb	0.93		0.76	*	0.96	*	0.92	*
Mar	0.97		0.76	*	0.95		0.92	*
Apr	0.96		0.79	*	0.95		0.90	*
Mag	0.96		0.79	*	0.95		0.88	*
Giu	0.95		0.84	*	0.93		0.90	*
Lug	0.92		0.83	*	0.90		0.86	*
Ago	0.94		0.81	*	0.91		0.83	*
Set	0.95		0.79	*	0.95	*	0.85	*
Ott	0.96		0.87	*	0.96	*	0.91	*
Nov	0.92		0.85	*	0.95	*	0.91	*
Dic	0.89	*	0.81	*	0.92	*	0.90	*

Tab. 2. Coefficienti di correlazione lineare di Pearson (coefficiente r) e significatività delle differenze fra temperature (test t di Student) minime e massime misurate in siti urbani e suburbani di Milano e Roma (BELTRANO, PERINI 1997).

### 3. Clima e forma urbana

Analisi dettagliate del clima urbano dovrebbero prevedere una classificazione delle tipologie d'insediamento lungo il gradiente centro città - aperta campagna. La classificazione può, ad esempio, basarsi sulle Zone climatiche locali (Lcz), aree omogenee dal punto di vista climatico le cui caratteristiche influenzano proprietà termiche come la frazione di superficie edificata, il rapporto altezza-larghezza degli edifici (H/W), il fattore di vista cielo ( $S_{VF}$ ), l'altezza degli elementi che costituiscono la 'rugosità' della superficie ( $Z_H$ ), il flusso di calore di origine antropica ( $Q_p$ ), la superficie di irraggiamento termico ( $\mu$ ) (STEWART, OKE 2009). Il fattore di scala è, inoltre, fondamentale poiché la rappresentatività delle stazioni meteorologiche varia sulla base della strumentazione adottata, delle condizioni all'intorno della stazione e della geometria della superficie (OKE 2004). Le misurazioni di temperatura (rilevate in capannina e a 2 m dal suolo) hanno, infatti, rappresentatività abbastanza ridotta se rilevate in un'area edificata e non in campo aperto. Le dimensioni spaziali delle Lcz variano in funzione delle condizioni di misurazione imposte dal sito. La figura 3 mostra un esempio di classificazione Lcz.

Sullo sfondo

Site Photographs		Traditional Classification & Site Metadata	Local Climate Zone Classification
Eye Level	High Angle*		
Tokyo (Yamashita 1990)		<b>Urban</b> Weather observatory in central Tokyo, next to busy roads, expressways, and close-set concrete buildings 10–20 stories tall. SVF=0.65. Vegetation scarce. Built fraction ~90%. Heavy traffic flow.	<b>COMPACT HIGHRISE</b> 
			
Goteborg (Eklason 1994)		<b>Urban</b> Narrow street canyon in central Goteborg. Compact brick buildings 5–8 stories tall. SVF=0.5. HW=1.4. Z <sub>ref</sub> =20 m. Few trees or green surfaces. Built fraction ~75%. Moderate traffic flow.	<b>COMPACT MIDRISE</b> 
			
Szeged (Unger et al. 2001)		<b>Urban</b> Housing estate on the outskirts of Szeged. Concrete towers 5–11 stories tall, widely set, uniform in design and layout. Z <sub>ref</sub> =19 m. SVF=0.85. Abundant vegetation and open space. Built fraction 54%. Low-moderate traffic flow.	<b>OPEN-SET MIDRISE</b> 
			
Tokyo (Yamashita 1990)		<b>Rural</b> Residential site 60 km NW of Tokyo. Detached, open-set homes 1–2 stories tall, separated by green spaces and small trees. SVF=0.75. Built fraction ~70%. Low traffic flow.	<b>OPEN-SET LOWRISE</b> 
			
Szeged (Unger et al. 2001)		<b>Rural</b> Cultivated fields 4.5 km west of Szeged. Fields uniformly cropped. No trees. Dry soils. Crop canopy 1 m agl. SVF=1. Built fraction < 1%. Traffic flow nil.	<b>LOW PLANT COVER</b> 
			

\*Image size approx. 250 m by 350 m

Fig. 3. Esempi di classificazione di alcuni siti, urbani e rurali, utilizzando il criterio delle Zone Climatiche Locali (LCZ). Fonte: Urban Climate News Quarterly <www.urban-climate.org>.

Il clima urbano dipende da elementi come altezza e larghezza degli edifici, ampiezza e orientamento delle strade e presenza di verde pubblico. Esso è dunque il prodotto di una 'mediazione culturale' tra la diversità di approcci nel concepire e costruire le città in termini di materiali e *design*. Ad esempio, l'indice Temperatura fisiologica equivalente ( $P_{ET}$ )<sup>3</sup> combina temperatura, umidità e ventosità per verificare le variazioni delle condizioni termiche (e il correlato 'comfort termico')<sup>4</sup> nelle città sia in base ai parametri architettonici sia alle stagioni e alle ore della giornata (JOHANSSON 2006; MATZARAKIS ET AL. 2007).

Forme urbane tradizionali possono, in alcuni casi, migliorare il *comfort* a scala microclimatica. A Fez (Marocco) in un quartiere con insediamenti compatti e orientamento est-ovest, la soglia di benessere ( $P_{ET} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ ) è abbondantemente superata a livello stradale per buona parte della giornata, salvo le poche ore in cui il cono d'ombra degli edifici riporta il  $P_{ET}$  nei limiti del *comfort* termico. Sotto i porticati, in particolare quelli al lato nord della strada, il *comfort* termico rimane invece sempre su livelli migliori (AHMED 2003; JOHANSSON 2006). Ciò sottolinea come alcuni elementi urbani caratteristici sono dunque potenzialmente funzionali nella mitigazione delle condizioni ambientali. Di converso, la geometria degli edifici può causare fenomeni meteorologici estremi, tra cui temporali di notevole intensità (NTELEKOS ET AL. 2007).

Oltre a  $U_{HI}$ , struttura e geometria del tessuto urbano, altro fattore incidente sui fenomeni meteorologici in aree urbane è la presenza, in concentrazioni elevate in aree urbane,

<sup>3</sup> Equivale alla temperatura che si avrebbe in un ambiente interno (una stanza) in cui ci fossero le stesse condizioni microclimatiche dell'esterno in base a: temperatura dell'aria ( $T_a$ ), temperatura media radiante ( $T_{mrt}$ ), velocità del vento ( $V$ ), pressione di vapore ( $V_p$ ).

<sup>4</sup> Il *comfort* termico viene definito dalla *American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers* (ASHRAE) come una condizione di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente in cui vive. La valutazione di tale stato soggettivo può essere oggettivata e quantificata mediante indici integrati che considerano i parametri microclimatici ambientali ( $T_a$ ,  $T_r$ ,  $V_a$ ,  $rh$ ), il dispendio energetico (dispendio metabolico MET) connesso all'attività lavorativa e la tipologia di abbigliamento (isolamento termico  $C_{LO}$ ) comunemente utilizzato.

di aerosol,<sup>5</sup> particelle minuscole sospese in atmosfera, derivanti principalmente da emissioni industriali e automobilistiche. Oltre a danni sulla salute umana esse hanno effetti su propagazione e assorbimento della radiazione solare, incidendo sia sulla 'trasparenza' dell'aria che sui processi fisici di condensazione dell'umidità atmosferica, poiché nuclei potenziali di condensazione che favorirebbero la formazione di *smog* e nebbie. Nuove tecnologie sono applicate per l'analisi degli effetti delle aree urbane sulla formazione delle nuvole, sulle precipitazioni e sulle tempeste. Il telerilevamento da satellite<sup>6</sup> (SCHUMACHER, HOUZE 2000), il LIDAR<sup>7</sup> (ZHOU ET AL. 2004) ed il radar Doppler (RUSSO ET AL. 2005) consentono di analizzare in dettaglio le precipitazioni piovose negli aspetti quantitativi e nella loro variabilità spaziale. Souch e Grimmond (2006) confermano che l'urbanizzazione ha effetti sulle precipitazioni tramite l'incremento dei nuclei igroscopici di condensazione dell'umidità atmosferica dovuti a: turbolenza dell'aria causata dalla maggiore 'rugosità' delle superfici; moti convettivi causati dalle proprietà e dai differenti stati termici dei materiali presenti; convergenza dei venti sull'area urbana che possono creare nuvole 'piovose'; apporto di vapore acqueo di origine antropica (LOWRY 1998).

#### 4. Discussione

Nelle aree urbane la temperatura supera di 1-2 °C quella delle aree rurali circostanti, peculiarità evidente nelle ore notturne e in estate. Il traffico veicolare, la climatizzazione degli edifici e la qualità dei materiali di copertura delle superfici concorrono a surriscaldare l'aria, mentre la rarefazione delle aree verdi, associata alla minore ventilazione, riduce l'efficienza delle forme di mitigazione naturali negli eventi estremi. Ciò implica che gli effetti del cambiamento climatico possono essere esacerbati nelle aree urbane e mitigati, essenzialmente, lungo il gradiente urbano-rurale (SZYMANOWSKI 2005). Il clima urbano, pertanto, presenta caratteristiche peculiari che giustificano un approccio specifico sia per la sua analisi sia per le strategie di adattamento. Nel primo caso, non è possibile misurare le variabili meteo-climatiche secondo i criteri raccomandati dall'OMM-WMO e gli schemi classici della modellistica meteo-climatologica, che mal si adattano alle aree urbane frammentate in insediamenti a diversa densità e compattezza. Nel secondo caso, invece, sono necessarie strategie di adattamento multi-scalari, che interessano sia gli Stati nazionali sia le aree urbane. In Europa, ad esempio, vari Stati membri hanno adottato delle strategie nazionali di adattamento ai cambiamenti climatici (WESTERHOFF ET AL. 2011).

<sup>5</sup> Con la sigla PM10 si identificano polveri, fumo, microgocce di sostanze liquide in sospensione nell'atmosfera sotto forma di particelle microscopiche, il cui diametro è uguale o inferiore a 10 µm (10 millesimi di millimetro). Le polveri sottili hanno due ulteriori suddivisioni: fini (tra 0,1 e 2,5 micron) e ultrafini (inferiori a 0,1 micron). Tutte queste particelle possono essere immesse in atmosfera tal quali (particelle primarie) o a seguito di reazione in atmosfera di composti chimici, quali ossidi di azoto e zolfo, ammoniaca e composti organici (particelle secondarie). Fonti di particolato possono essere sia antropiche che naturali. Fra le prime vi sono quelle connesse a processi di combustione quali motori, utilizzo di combustibili (oli, carbone, legno, rifiuti, rifiuti agricoli), emissioni industriali (cementifici, fonderie, miniere). Le fonti naturali sono l'aerosol marino, particelle di suolo eroso e trasportato dal vento, aerosol biogenici (spore, pollini, microbi), ceneri di incendi boschivi e di emissioni vulcaniche.

<sup>6</sup> Si fa particolare riferimento al *Tropical rainfall measuring mission* (TRMM), una missione spaziale congiunta tra la NASA e la *Japan aerospace exploration agency* (JAXA), progettata per studiare le piogge tropicali. Il termine si riferisce indistintamente sia alla missione che al satellite utilizzato per la raccolta dati. TRMM fa parte di un progetto a lungo termine di studio della Terra come sistema globale.

<sup>7</sup> *Light detection and ranging*; o *Laser imaging detection and ranging* è una tecnica di telerilevamento per la determinazione della distanza di un oggetto o di una superficie mediante un impulso laser. Consente anche di stimare la concentrazione di particolari elementi in atmosfera.

In Italia, seppur con ritardo, il Ministero per l'ambiente e la tutela del territorio e del mare ha presentato nel 2013 la propria bozza di strategia nazionale di adattamento (MATTM 2013). Alla scala urbana e metropolitana, in aggiunta, sono state messe in atto varie strategie (CASTÁN BROTO, BULKELEY 2013) così come nelle aree urbane italiane, in particolare nell'Italia centro-settentrionale (MEDRI ET AL. 2013). A livello nazionale, ad esempio, la questione UHI sembra essere pressante dopo quanto avvenuto nell'estate del 2003, in cui oltre 3.000 morti furono direttamente correlate all'ondata di calore particolarmente nelle grandi aree urbane (CONTI ET AL. 2005). Le strategie di adattamento alla scala locale, per alcune aree metropolitane dell'Italia settentrionale (come Bologna, Padova e Torino), predispongono misure specifiche per adattare la forma e la struttura urbana al rischio delle onde di calore, incentivando il monitoraggio e l'utilizzo di sistemi di allerta, promuovendo la riduzione dei consumi energetici e l'efficienza termica delle strutture pubbliche e private, ripristinando e incrementando gli spazi verdi e favorendo la rinaturalizzazione delle aree ripariali urbane e la gestione corretta delle vie d'acqua.

## 6. Conclusioni

“Due modi ci sono per non soffrirne: accettare l'inferno e diventarne parte, fino al punto di non vederlo più. Il secondo è rischioso ed esige apprendimento continuo: cercare di sapere chi e che cosa in mezzo all'inferno, non è inferno, e farlo durare e dargli spazio” (CALVINO 1972). Parafrasando Calvino, il contributo ha indirettamente sottolineato come la creazione del microclima urbano non sia riconducibile ai semplici fattori bio-fisici, ma sia dipendente dalla forma e dall'organizzazione spaziale delle città. Questo sottende, a sua volta, un vasto specchio di politiche urbane e nazionali, scelte economiche e innovazioni sociali che modellano il territorio aumentandone o diminuendone, da un lato, la vulnerabilità al cambiamento climatico e, dall'altro, l'influenza nel favorire la creazione del microclima urbano. Le analisi sul clima urbano, pertanto, non possono essere ridotte a interpretazioni schematiche, ma devono invece aprirsi a discussioni approfondite su come la vita quotidiana della e nella città possa influire sulle condizioni climatiche alla scala urbana. L'inferno urbano di Calvino, tra le città desiderate e sognate e quelle 'reali', contiene ancora molti barlumi di speranza che contribuirebbero ad accrescere la qualità della vita urbana: ad esempio, riportare il verde in città, cogliere le opportunità dell'architettura sostenibile, sviluppare politiche energetiche efficaci, incentivare il trasporto pubblico e condiviso e la 'mobilità dolce', individuare le popolazioni più vulnerabili alle quali garantire assistenza e supporto nella diminuzione dei rischi.

## Riferimenti bibliografici

- AHMED K.S. (2003), "Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments", *Energy and Buildings*, n. 35, pp. 103-110.
- ARNFIELD A.J. (2003), "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island", *International Journal of Climatology*, vol. 23, pp. 1-26.
- BELTRANO M.C., PERINI L. (1997), "Comparazione tra le temperature estreme giornaliere urbane ed extraurbane a Roma e Milano", *Nimbus*, vn 3/4, pp. 48-51.
- CALVINO I. (1972), *Le città invisibili*, Einaudi, Milano.
- CASTÁN BROTO V., BULKELEY H. (2013), "A survey of urban climate change experiments in 100 cities", *Global Environmental Change*, n. 23, pp. 92-102.
- CONTI S., MELI P., MINELLI G., SOLIMINI R., TOCCACELI V., VICHI M., BELTRANO M.C., PERINI L. (2005), "Epidemiologic study of mortality during Summer 2003 heat wave in Italy", *Environmental Research*, vol. 98, n.3, pp. 390-399.



- GEMMITI R., SALVATI L. (2011), *C'era una volta la città. Una lettura multidisciplinare del mutamento urbano*, Bonanno, Roma-Acireale.
- GIRIDHARAN R., GANESAN S., LAU S.S.Y. (2004), "Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong", *Energy and Buildings*, n. 36, pp. 525-534.
- HALLEGATTE S., CORFEE-MORLOT J. (2011), "Understanding climate change impacts, vulnerability and adaptation at city scale: an introduction", *Climatic Change*, n. 104, pp. 1-12.
- HALLEGATTE S., HENRIET F., CORFEE-MORLOT J. (2011), "The economics of climate change impacts and policy benefits at city scale: a conceptual framework", *Climatic Change*, n. 104, pp. 51-87.
- HAWKINS T.W.B., STEFANOV W.L., BIGLER W., SAFFELL E.M. (2004), "The role of rural variability in urban heat island determination for Phoenix, Arizona", *Journal of Applied Meteorology*, n. 43, pp. 476-486.
- HUNT A., WATKISS P. (2011), "Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature", *Climatic Change*, n. 104, pp. 13-49.
- ISTVÁN L.B. (2010), "Urban sprawl and climate change: A statistical exploration of cause and effect, with policy options for the EU", *Land Use Policy*, n. 27, pp. 283-292.
- JOHANSSON E. (2006), "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco", *Building and Environment*, n. 41, pp. 1326-1338.
- JOHNSON D.P., WILSON J.S. (2009), "The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: the case of heat-related deaths in Philadelphia", *Applied Geography*, n. 29, pp. 419-434.
- JONSSON P. (2004), "Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana", *International Journal of Climatology*, n. 24, pp. 1307-1322.
- LOWRY W.P. (1998), "Urban effects on precipitation amount", *Progress in Physical Geography*, n. 22, pp. 477-520.
- MATTM - MINISTERO PER L'AMBIENTE E LA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (2013), *Elementi per una strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici. Documento per la consultazione pubblica*, Roma.
- MATZARAKIS A., GEORGIADIS T., ROSSI F. (2007), "Thermal bioclimate analysis for Europe and Italy", *Il Nuovo Cimento*, vol. C30, pp. 623-632.
- MEDRI S., VENTURINI S., CASTELLARI S. (2013), *Overview of key climate change impacts, vulnerabilities and adaptation action in Italy*, Research Papers Issue RP0178 July 2013, CMCC.
- NTELEKOS A.A., SMITH J.A., KRAJEWSKI W.F. (2007), "Climatological Analyses of Thunderstorms and Flash Floods in the Baltimore Metropolitan Region", *Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, n. 1, pp. 88-101.
- OKE T.R. (1982), "The energetic bases of the urban heat island", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n. 108, pp. 1-24.
- OKE T.R. (2004), "Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites", *Proceedings of 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application*, Banff, 25-29 October, 2004.
- RUSSO F., NAPOLITANO F., GORGUCCI E. (2005), "Rainfall monitoring systems over an urban area: the city of Rome", *Hydrological Processes*, n. 19, pp. 1007-1019.
- SAKAKIBARA Y., OWA K. (2005), "Urban rural temperature differences in coastal cities: influence of rural sites", *International Journal of Climatology*, n. 25, pp. 811-820.
- SALVATI L., FORINO G. (2014), "A 'Laboratory' of Landscape Degradation: Social and Economic Implications for Sustainable Development in Peri-urban Areas", *International Journal of innovation and Sustainable Development*, in stampa.
- SCHUMACHER C., HOUZE R.A. (2000), "Comparison of Radar Data from the TRMM Satellite and Kwajalein Oceanic Validation Site", *Journal of Applied Meteorology*, n. 39, pp. 2151-2164.
- SOUCH C., GRIMMOND S. (2006), "Applied climatology: urban climate", *Progress in Physical Geography*, vol. 30, n. 2, pp. 270-279.
- SPRONKEN-SMITH R.A., KOSSMANN M., ZAWAR-REZA P. (2006), "Where does all the energy go? Surface energy partitioning in suburban Christchurch under stable wintertime conditions", *Theoretical and Applied Climatology*, n. 84, pp. 137-150.
- STEWART I.D., OKE T.R. (2009), "Classifying urban climate field sites by 'local climate zones': The case of Nagano, Japan", *Preprints, Seventh International Conference on Urban Climate*, June 29 - July 3, Yokohama, Japan.
- SZYMANOWSKI M. (2005), "Interactions between thermal advection in frontal zones and the urban heat island of Wrocław, Poland", *Theoretical and Applied Climatology*, n. 82, pp. 207-224.
- UNGER J. (2004), "Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach", *Climate Research*, n. 27, pp. 253-264.
- WESTERHOFF L., KESKITALO E.C.H., JUHOLA S. (2011), "Capacities across scales: local to national adaptation policy in four European countries", *Climate Policy*, vol. 11, n. 4, pp. 1071-1085.
- ZHOU G.Q., SONG C., SIMMERS J., CHENG P. (2004), "Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images", *Computers and Geosciences*, n. 30, pp. 345-353.