Observational evidence of intensified urban heat island during heatwaves in European cities

Marco Possega, Leonardo Aragão, Paolo Ruggieri, Marco A. Santo e Silvana Di Sabatino

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna

Introduzione

Le **ondate di calore** (*heatwaves* "HW") sono condizioni meteorologiche estreme caratterizzate da temperature elevate persistenti con impatti considerevoli sulla società. Uno degli aspetti più interessanti delle HWs riguarda l'interazione con il fenomeno dell'**isola di calore urbana** (*urban heat island* "UHI"), cioè la tendenza delle aree urbanizzate ad avere temperature più calde rispetto alle zone rurali circostanti. Alcuni studi si sono occupati di analizzare il comportamento dell'UHI durante periodi di caldo estremo, mostrando un'amplificazione del gradiente di temperatura tra zona urbana e rurale in condizioni di HW. Tuttavia, i risultati sono spesso limitati a casi studio per una singola HW e/o località oppure utilizzano output di modelli globali, con risoluzione insufficiente a tenere conto delle proprietà delle città indagate. Al fine di fornire evidenza osservativa ed estendere i precedenti risultati, in questo lavoro viene studiato l'effetto delle HWs sull'UHI in 15 città europee con caratteristiche differenti (geografia, topografia, urbanistica) attraverso l'analisi dei dati di temperature misurate da stazioni meteorologiche.

Dataset

Vengono analizzate le temperature di 15 località europee utilizzando i dati forniti dall'**European Climate Assessment & Dataset** (ECA&D) [1]. Viene selezionato un intervallo di tempo comprendente 14 anni di dati (2006 - 2019), includendo soltanto le estati meteorologiche (cioè i mesi di giugno, luglio e agosto) per aumentare la probabilità di rilevare eventi di ondate di calore.

Le località vengono scelte secondo 3 criteri:

- *distribuzione geografica*: in modo da coprire varie zone del continente europeo;
- *popolazione*: alta densità di popolazione (più di 300.000 abitanti);
- *disponibilità dei dati*: almeno una stazione meteorologica urbana e una rurale situata entro un raggio di 30 chilometri dal centro urbano, con dislivello di $\pm$ 30 m (quest'ultima condizione viene rilassata in alcuni casi).

Le città così selezionate risultano: Lubiana, Malmo, Helsinki, Frankfurt, Hamburg, Sevilla, Madrid, Berlin, Tallinn, Cologne, Oslo, Stockholm, Bologna, Dublin e Munich. La Fig.1 mostra, come esempio, una delle città individuate.

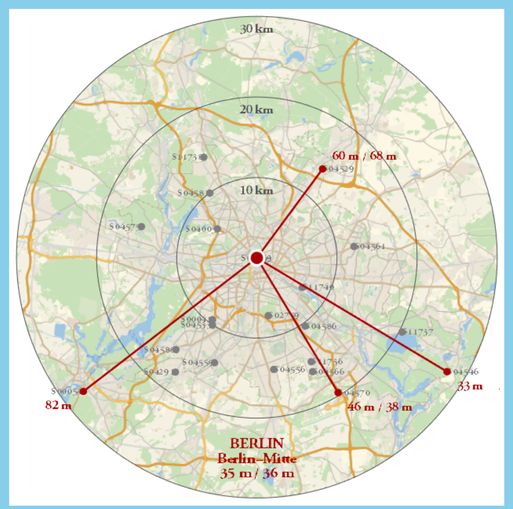

Fig. 1: Città di Berlin con le stazioni utilizzate e le relative altitudini.

Composite UHI Index

L'intensità dell'UHI è comunemente definita come la differenza tra la temperatura urbana e rurale, misurata utilizzando una coppia di stazioni. Tuttavia, se i dati provenienti da diversi siti di osservazione sono accessibili, può essere utile fare una media sulle stazioni urbane e rurali e calcolare l'intensità dell'UHI tramite un *Composite UHI Index* (UHII) [3]:

$$UHII = \overline{T_U} - \overline{T_R},$$

cioè la differenza tra le **medie** dei valori urbani e rurali. Questo indice è efficace per rimuovere l'impatto della variabilità dei dati specifica del sito di osservazione. In questo studio viene impiegato un UHII calcolato utilizzando separatamente le temperature minime e le massime giornaliere, in modo da considerare rispettivamente l'isola di calore notturna e diurna come in [4]

Individuazione delle HWs

Il fenomeno dell'UHI viene analizzato confrontando i giorni estivi *normali* (NO) e le ondate di calore (HW), queste ultime determinate applicando una metodologia simile a quella presentata in [5]. In particolare, vengono valutate le **anomalie di temperatura** massima giornaliera rispetto ad una climatologia di 40 anni di dati provenienti dalle rianalisi ERA5 [2]. Queste vengono considerate come indicatori di HWs se soddisfano i seguenti requisiti:

- il loro valore risulta maggiore del 95esimo percentile della funzione di densità di probabilità locale, calcolata per ogni giorno d utilizzando la climatologia di dati ERA5 e considerando la finestra temporale tra $d-10$ e $d+10$ giorni;
- la soglia del 95esimo percentile viene superata per almeno una frazione spaziale del 60% di un quadrato di lato L $= 1^\circ$ centrato sul punto della griglia da considerare come area soggetta a HW;
- la soglia viene oltrepassata per almeno 4 giorni consecutivi,

. Con questo metodo vengono individuate le HWs per ciascuna città esaminata, che per il periodo considerato risultano essere un numero relativamente basso (da 3 a 10), con durata media di circa 5 giorni.

Risultati - I

I risultati principali riguardano i valori delle temperature minime giornaliere, cioè quelli che vengono considerati relativi alle isole di calore **notturne**. A tal proposito, la figura seguente mostra il valore del Composite UHI Index notturno (indicato come ΔT [°C]) distinguendo il risultato ottenuto nei giorni NO da quello dei giorni HW, in ogni località selezionata per lo studio.

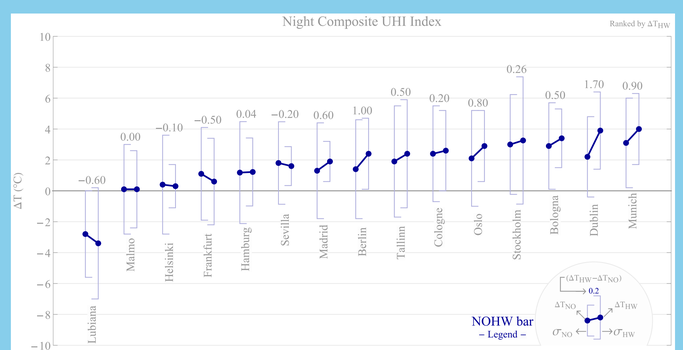

Fig. 2: Composite UHI Index notturno per le città analizzate, con la distinzione tra giorni NO e HW.

Dal grafico riportato in Fig.2 emerge come per 9 delle 15 città analizzate l'UHII aumenti nei periodi HW, per due rimanga sostanzialmente invariato (Malmo e Hamburg), mentre soltanto per 3 città diminuisca. Il caso di Lubiana è singolare e meriterebbe una trattazione a parte, in quanto la città sembra essere soggetta al fenomeno dell'*urban cool island*.

Risultati - II

Viene esaminata la correlazione tra isola di calore e anomalia di temperatura massima giornaliera nei giorni NO e HW, misurata come differenza tra temperatura urbana e la soglia del 95esimo percentile calcolata per la determinazione delle HWS.

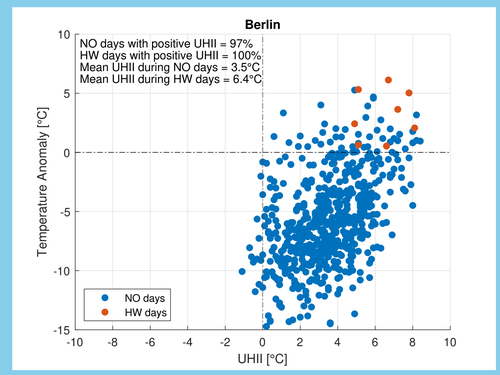

Fig. 3: Scatterplot di UHII vs anomalia di temperatura per la città di Berlin distinguendo giorni NO e HW.

L'esempio mostrato in Fig.3 evidenzia come nei casi di HW si rilevi una percentuale superiore di giorni con UHII positivo rispetto alle giornate NO. Inoltre, anche i valori delle medie sui dati con UHII$>$0 risultano superiori durante le HWs.
Questo risultato viene ottenuto per 8 città sulle 15 totali, mentre 3 non presentano differenze e 4 descrivono l'andamento opposto.

Conclusioni e Sviluppi Futuri

L'analisi del diverso comportamento dell'UHI durante le HWs rispetto alle "normali" giornate estive (NO) ha mostrato sia un'**intensificazione** dei valori dell'UHII, con un incremento medio di 0.3 °C, sia una **più alta percentuale** di UHII positivo durante periodi di caldo estremo per la maggior parte delle località esaminate.

Questo lavoro fornisce un'indicazione di come le aree urbane europee rispondono a periodi di caldo intenso e potrebbe essere utile per convalidare simulazioni di modelli numerici per analisi più dettagliate, ad esempio per quanto riguarda le strategie di mitigazione. In aggiunta, l'emergere di alcuni valori anomali, vale a dire città come Lubiana la cui UHI ha manifestato una risposta diversa alle HWs, potrebbe essere oggetto di studio in futuro.

Riferimenti

[1] https://www.ecad.eu/.

[2] https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis.

[3] Basara J B, Basara H G, Illston B G and Crawford K C. "The impact of the urban heat island during an intense heat wave in Oklahoma City". In: *Advances in Meteorology* (2010).

[4] Scott A A, Waugh D W and Zaitchik B F. "Reduced Urban Heat Island intensity under warmer conditions". In: *Environmental Research Letters* 13.6 (2018), p. 064003.

[5] Stefanon M, D'Andrea F and Drobinski P. "Heatwave classification over Europe and the Mediterranean region". In: *Environmental Research Letters* 7.1 (2012), p. 014023.

Ulteriori Informazioni

email $\rightarrow$ *marco.possega2@unibo.it*