

# ANALISI DELL'EFFETTO DELL'ANTROPIZZAZIONE DEI SUOLI SULLA TEMPERATURA DELL'ARIA MEDIANTE L'UTILIZZO DI DATI SATELLITARI

*Roberta Paranunzio<sup>1</sup>, Francesco Laio<sup>1</sup>, Serena Ceola<sup>2</sup> & Alberto Montanari<sup>2</sup>*

*(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), Politecnico di Torino, Torino; (2) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, Bologna*

## ASPETTI CHIAVE

- *Analisi dell'effetto del Urban Heat Island sui record di temperatura dell'aria*
- *Si utilizzano dati satellitari di luminosità notturna come proxy di urbanizzazione*
- *I paesi in via di sviluppo e del terzo mondo presentano il maggior grado di accordo tra trend di luminosità e di temperatura*

## 1 PREMESSA

Negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi sulla quantificazione dell'effetto del Urban Heat Island (UHI) e più in generale dell'antropizzazione dei suoli sulle temperature dell'aria a scala globale (Hansen *et al.*, 2010) e locale (Hausfather *et al.*, 2013; Peterson & Owen, 2005). In questo lavoro si pongono le basi per l'analisi dell'effetto del urban warming sui record di temperatura dell'aria e più in generale sulle dinamiche di riscaldamento globale. Si tratta quindi di valutare se vi possa essere una relazione tra le variazioni di temperatura registrate negli ultimi 20-25 anni e la possibile inclusione di termometri in aree interessate da isole di calore urbano utilizzando dati di luminosità notturna ad alta definizione (nightlights) come proxy di possibile presenza umana/urbanizzazione. Le nightlights sono già state ampiamente utilizzate come indicatori di antropizzazione, dell'attività socio-economica (Chen & Nordhaus, 2011) o dell'esposizione umana al rischio idrogeologico (Ceola *et al.*, 2015). Le nightlights si sono dimostrate inoltre un valido strumento per distinguere le stazioni meteorologiche localizzate in aree cosiddette "rurali" e "urbane" e, quindi, per l'individuazione dell'effetto UHI sui record di temperatura a scala globale (Wickham *et al.*, 2013).

## 2 MATERIALI E METODI

### 2.1 Dati

#### 2.1.1 Temperature

I dati di temperatura considerati per questo lavoro provengono dal data set del progetto Berkeley Earth, comprendente i dati provenienti da 36869 stazioni meteorologiche, a loro volta combinati da sedici archivi preesistenti. Per questo lavoro, sono stati utilizzati i dati di temperatura media mensile (TAVG) che hanno superato il controllo di qualità ma per i quali non sono state applicate correzioni per eventuali eterogeneità o distorsioni (Berkeley Earth, 2015).

#### 2.1.2 Dati di luminosità artificiale notturna (nightlights)

I dati satellitari sono stati raccolti dal US Weather Force Agency nell'ambito del Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) che gestisce attualmente quattro satelliti dotati del sensore OLS (Sistema Operativo Lynescan). Oltre alle luci delle città e degli insediamenti umani in generale, il sensore è anche in grado di ricevere i bagliori prodotti dalla combustione del gas, le luci delle navi e gli incendi (non considerati in questo lavoro). I dati sono disponibili su base annuale, tra il 1992 e il 2013 e sono liberamente forniti dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015). I dati sono espressi in digital number (DN), proporzionali alla radianza, e assumono valori nell'intervallo 0-63, indicando rispettivamente con 0 le aree di buio totale e con 63 le aree di massima luminosità. Le immagini sono fornite in formato raster (GeoTiff) con una risoluzione spaziale di 30 arcosecondi (0.00833°, circa 1 km<sup>2</sup> di risoluzione all'equatore). L'estensione spaziale è compresa tra i 75° N e i 65° S (latitudine) e tra i 180° W e 180° E (longitudine).

### 2.2 Metodologia

### 2.2.1 Ricostruzione delle temperature medie annue $T_i$

Non tutte le serie storiche disponibili sono complete, ossia comprendono tutti i valori mensili per i 22 anni dal 1992 al 2013, intervallo che coincide con la copertura temporale dei dati di luminosità notturna. Per questo motivo, è stato necessario applicare filtri a soglia sul numero minimo di mesi ( $Nm_i$ ) e anni ( $Ny_j$ ) necessari per ricostruire il dato medio annuo. Variando le soglie, è stato possibile calcolare lo scostamento della temperatura dell'anno  $i$ -esimo dalla media della serie storica per ogni stazione ( $S_i$ ).

La temperatura media annua  $T_i$  è stata quindi ricostruita sommando alla temperatura media della serie storica  $\bar{T}$  lo scostamento  $S_i$ . La soglia  $Nm_i \geq 9$  mesi –  $Ny_j \geq 18$  anni è risultata essere la più efficiente in termini di disponibilità di stazioni ed è stata quindi scelta per le analisi successive (Tabella 1).

Localizzazione	Stazioni attive tra il 1992 e il 2013	$Nm_i \geq 9 - Ny_j \geq 18$
Asia	3862 (13.5 %)	1052 (20.7 %)
Nord America	16667 (58.1 %)	2579 (50.8 %)
Europa	4811 (16.8 %)	880 (17.3 %)
Africa	976 (13.4 %)	117 (2.3%)
Sud America	657 (2.3 %)	155 (3.1 %)
Oceania	1462 (5.1 %)	273 (5.4 %)
Altri	243 (0.8 %)	17 (0.3 %)
World	28678 (100 %)	5073 (100 %)

**Tabella 1.** Numero di stazioni disponibili in seguito all'applicazione delle soglie per la ricostruzione del dato medio annuo di temperatura dai dati mensili del database Berkeley Quality Controlled TAVG. L'esempio riporta l'applicazione della soglia scelta, che risulta essere la più efficiente in termini di disponibilità di stazioni.

### 2.2.2 Localizzazione delle stazioni

Le stazioni selezionate secondo i requisiti di cui al paragrafo 2.2.1 ma localizzate con una precisione spaziale inferiore rispetto a quella dei raster delle luci (30 arcsec) sono state scartate dall'analisi, così come le stazioni localizzate al di fuori dell'estensione spaziale delle immagini. Definito un buffer regolare ad esempio tra 1 e 2 km intorno alla stazione meteorologica di riferimento, è stato quindi calcolato il valore medio annuo di luminosità  $DN_i$  all'interno del buffer.

### 2.2.3 Analisi del trend

Mediante un'analisi di regressione lineare, è stato possibile valutare l'andamento del trend dei record di temperatura ( $T$ ) e dei dati di luminosità ( $DN$ ) per ogni stazione considerata. La pendenza della linea di regressione rappresenta la percentuale di variazione di temperatura o nightlights per anno. Andamenti positivi, ad esempio, definiscono rispettivamente un riscaldamento della temperatura dell'aria e un aumento della luminosità nel buffer considerato. Per valutare la significatività dei coefficienti di regressione delle rette ottenute, è stato calcolato il  $pValue$  del test T Student a una coda. Il test è stato condotto con un valore di significatività  $\alpha=5\%$ . Valori di  $pValue \geq 0.95$  o  $pValue \leq 0.05$  indicano rispettivamente andamenti positivi o negativi significativi, mentre valori  $0 < pValue < 0.5$  e  $0.5 < pValue < 0.95$  definiscono rispettivamente trend negativi e positivi ma non significativi da un punto di vista statistico. Sono state definite quindi quattro classi di significatività dei coefficienti di regressione sia per i dati di temperatura che per i dati di luminosità (Tabella 2).

Classe	pValue
1	-- $pValue \leq 0.05$
2	- $0.05 < pValue < 0.5$
3	+ $0.5 < pValue < 0.95$
4	++ $pValue \geq 0.95$

**Tabella 2.** Classi di significatività dei coefficienti di regressione delle rette dei dati di temperatura  $T$  e di luminosità  $DN$ .

Per una più facile lettura, i risultati sono stati quindi organizzati in tabelle di contingenza a quattro entrate

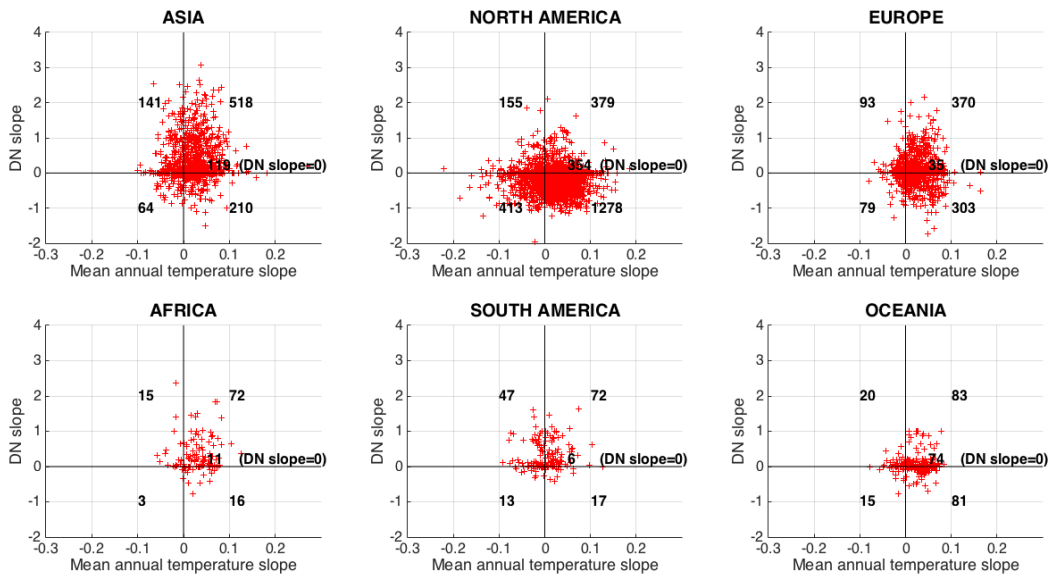
per analizzare la relazione esistente tra le temperature e i dati di luminosità. I valori sulla diagonale principale rappresentano il numero di elementi per i quali vi è concordanza massima tra le classi. La probabilità di accordo osservato a scala continentale e globale è stato pesato in base a coefficienti  $w_{ij}$  che pesano il grado di accordo tra i dati in base alla distanza dalla diagonale principale. I pesi  $w_{ij}$  (compresi tra 0 e 1) si assegnano in modo che i pesi siano attribuiti in modo simmetrico e che alle celle di perfetto accordo sulla diagonale si assegni  $w_{ij}=1$ .

$$p_o = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c \frac{n_{ij} w_{ij}}{n} \quad (1)$$

Il grado di accordo osservato pesato  $p_o$  quindi si calcola come in eq. (1), in cui  $n$  è la numerosità totale del campione,  $n_{ij}$  il numero di elementi che appartengono contemporaneamente alla classe  $i$ -esima di  $T$  e alla classe  $j$ -esima di  $DN$ ,  $c$  il numero di classi mentre  $w_{ij}$  rappresentano i pesi lineari.

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

L'applicazione di soglie sempre più restrittive sul numero minimo di mesi e anni per la ricostruzione del dato di temperatura comporta una rilevante perdita del numero di stazioni disponibili per la nostra analisi (Tabella 1). Escludendo le stazioni ubicate in Antartide, in zone in conflitto o per le quali non è indicato lo stato di appartenenza (indicate come "Altri"), Africa e Sud America risultano essere i continenti meno densamente coperti dalla rete di stazioni.



**Figura 1.** Valore di pendenza della retta di regressione (slope) dei dati di temperatura (Mean annual temperature slope) e di luminosità (DN slope) a scala continentale. In grassetto si riporta il numero di stazioni nei quadranti, caratterizzati da trend concordanti (slope entrambi positivi o negativi, quadranti 1 e 3) o discordanti (slope positivi e negativi, quadranti 2 e 4) e i punti per cui la pendenza della retta di regressione dei dati di luminosità è zero (DN slope = 0).

Africa, Asia e Sud America presentano un considerevole numero di stazioni caratterizzati da trend positivi concordanti, mentre in Oceania e in Europa non si riscontrano particolari pattern. Il Nord America è caratterizzato da trend fortemente discordanti, ovvero aumento delle temperature in concomitanza con un importante decremento di luminosità (Figura 1). Ciò potrebbe essere dovuto alla politica di riduzione luminosa promossa in numerosi stati degli U.S. (Ceola et al., 2014) D'altra parte, trend concordanti positivi corrispondono tendenzialmente a paesi in via di sviluppo ed emergenti, nei quali si sta assistendo negli ultimi a una rapida crescita dell'urbanizzazione e potenzialmente all'inglobamento di numerose stazioni dalle zone rurali a quelle urbane (Hansen et al., 2010). Di più difficile interpretazione sono i trend dei paesi sviluppati (Europa), estremamente variabili a seconda del paese considerato e delle politiche ambientali attuate (Bennie et al., 2014). Focalizzando l'attenzione sulle stazioni che presentano massimo agreement tra le classi di

significatività, il dato più interessante risulta essere quello relativo alla classe 4 di Asia e Africa, per i quali rispettivamente il 22.4 % e 32.5 % delle stazioni presentano trend positivi concordanti significativi (Tabella 3) cioè un significativo incremento della temperatura registrata alla stazione tra il 1992 e il 2013 e del dato di luminosità nel buffer considerato.

Localizzazione	1	2	3	4	No. tot stazioni
	T-- DN--	T- DN-	T+ DN+	T++ DN++	
Asia	3 (0.3 %)	26 (2.5 %)	62 (5.9 %)	236 (22.4 %)	1052 (100 %)
Nord America	88 (3.4 %)	115 (4.5 %)	153 (5.9 %)	42 (1.6 %)	2579 (100 %)
Europa	51 (5.8 %)	3 (0.3 %)	48 (5.5 %)	109 (12.4 %)	880 (100 %)
Africa	0 (0 %)	1 (0.9 %)	5 (4.3 %)	38 (32.5 %)	117 (100 %)
Sud America	2 (1.3 %)	5 (3.2 %)	10 (6.5 %)	19 (12.3 %)	155 (100 %)
Oceania	3 (1.1 %)	7 (2.6 %)	9 (3.3 %)	27 (9.9 %)	273 (100 %)
World	147 (2.9%)	158 (3.1%)	288 (5.7 %)	471(9.3 %)	5073 (100 %)

**Tabella 3.** Distribuzione delle stazioni a scala globale e continentale nelle quattro classi di massima concordanza individuate in base al valore di significatività  $p$ Value del coefficiente di regressione di temperatura  $T$  e nightlights  $DN$ .

Come si può vedere in Tabella 4, Africa e Asia rappresentano inoltre i due continenti con il maggior grado di accordo tra le classi e quindi un maggior grado di accuratezza della classificazione statistica. L'integrazione di dati di temperatura di altre fonti di informazione, soprattutto in continenti come l'Africa in cui si ha minor disponibilità di stazioni, potrebbe garantire una maggior robustezza all'analisi statistica, oltre a migliorare l'efficienza del metodo proposto. I dati satellitari ad alta definizione contribuiscono quindi efficacemente a mettere in luce pattern significativi nei paesi emergenti o del terzo mondo più che in paesi già sviluppati (Europa e Nord America), in cui si rilevano trend deboli o non significativi (Tabella 4). Un risultato analogo d'altronde si ritrova in studi precedenti in cui le nightlights si sono dimostrate uno strumento efficace per analizzare l'esposizione al rischio idraulico, con risultati interessanti soprattutto in Africa e Asia (Ceola et al., 2014).

	Asia	Nord America	Europa	Africa	Sud America	Oceania	World
$p_o$	0.64	0.53	0.55	0.7	0.61	0.57	0.56

**Tabella 4.** Grado di accordo osservato pesato  $p_o$  a scala continentale e globale.

In conclusione, i dati di luminosità artificiale notturna costituiscono un elemento innovativo per l'analisi dell'effetto dell'antropizzazione sui record di temperatura e, in un'ottica più ampia, per la valutazione dell'effettivo contributo del Urban Heat Island sulle dinamiche di riscaldamento globale.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bennie, J., Davies, T. W., Duffy, J. P., Inger, R. & Gaston, K. J. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights, Scientific reports, 2014, 4.
- Berkeley Earth - Intermediate Data - Quality Controlled – TAVG, 2015, <http://berkeleyearth.org/data/>.
- Ceola, S., Laio, F. & Montanari, A. Satellite nighttime lights reveal increasing human exposure to floods worldwide, Geophysical Research Letters, 2014, 41(20), 7184-7190.
- Ceola, S., Laio, F. & Montanari, A. Human-impacted waters: New perspectives from global high-resolution monitoring, Water Resources Research, 2015, 51(9), 7064-7079.
- Chen, X. & Nordhaus, W. D. Using luminosity data as a proxy for economic statistics, Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, 108(21): 8589-8594.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. & Lo, K. Global surface temperature change, Reviews of Geophysics, 2010, 48(4).
- Hausfather, Z., Menne, M. J., Williams, C. N., Masters, T., Broberg, R. & Jones, D. Quantifying the effect of urbanization on US Historical Climatology Network temperature records, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118(2), 481-494.
- NOAA - Earth Observation Group, Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series., 2015, <http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>.
- Peterson, T. C. & Owen, T. W. Urban Heat Island Assessment: Metadata Are Important, J. Climate, 2005, 18, 2637-2646.
- Wickham, C., Rohde, R., Muller, R.A., Wurtele, J., Curry, J., Groom, D., Jacobsen, R., Perlmutter, S., Rosenfeld, A. & Mosher, S. Influence of Urban Heating on the Global Temperature Land Average using Rural Sites Identified from MODIS Classifications, Geoinformatics & Geostatistics: An Overview, 2013, 1:2.