

## APPROCCIO QUANTITATIVO ALL'ANALISI DEGLI EFFETTI URBANI SUL CLIMA

### QUANTITATIVE APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE URBAN EFFECTS ON CLIMATE

Luigi Mariani<sup>2\*</sup>, Gesualdo Sovrano Pangallo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale

<sup>2</sup>: Agronomo Lodi

\* Corresponding author e-mail: [meteomar@libero.it](mailto:meteomar@libero.it)

Ricevuto 17 novembre 2004, accettato 10 giugno 2005

#### Riassunto

L'articolo si propone di analizzare il mutamento del clima legato ai processi d'urbanizzazione (*urban warming*), fenomeno che è sotto gli occhi di tutti e che presenta un impatto di gran lunga superiore rispetto a quello del *global warming*. Vengono in particolare presentati alcuni strumenti modellistici empirici e meccanicistici utili per valutare l'impatto ambientale dell'urbanizzazione e per pianificare opportuni interventi di mitigazione. Strumenti di tale natura sono di rilevante importanza in quanto tutti gli esseri viventi del pianeta vivono all'interno dello strato limite atmosferico e pertanto sono assai sensibili alle alterazioni delle grandezze atmosferiche di tale strato. Dall'analisi condotta emergono le lacune conoscitive di tipo statistico relative al processo di urbanizzazione in Italia.

**Parole chiave:** Micrometeorologia, isola di calore urbana, riscaldamento globale, bilancio energetico

#### Abstract

*The aim of this paper is an analysis of the climatic effects of urbanisation processes (urban warming), a phenomenon very evident and with an impact on urban environment significantly higher than global warming.*

*This paper presents some empirical and mechanistic approach able to quantify climatic effects of urbanisation on temperature showing that the approach based on mathematical models is useful to quantify the environmental effects of urbanisation and to define mitigation policies.*

*An approach of this kind is furthermore important due to the evidence that all living beings of our planet live into the boundary layer and are sensitive to the variability of the atmospheric variables into it.*

**Keywords:** Micrometeorology, Urban heat island, global warming, energy balance

#### Introduction

Mentre il tema del riscaldamento globale (*global warming*) (IPCC, 2001) ha vasta eco nel mondo scientifico e sui mezzi d'informazione, assai limitato è oggi il dibattito su un'altra forma di cambiamento climatico, d'origine prettamente antropica, in atto da alcuni millenni e che solo negli ultimi secoli ha assunto entità tale da coinvolgere tutti noi in modo diretto: il cambiamento climatico dello strato limite. Lo strato limite (*Boundary Layer* – BL in lingua inglese) è lo strato atmosferico più vicino al suolo (la sua altezza varia da poche decine di metri a 1000 – 2000 m e oltre), in cui trascorre la propria esistenza la gran massa dei viventi, animali e vegetali. Per definizione il BL è lo strato a contatto con una superficie, le cui caratteristiche (temperatura, umidità, vento, radiazione, torbidità, ecc.) sono alterate in modo significativo dalla superficie stessa (Munn, 1966; Oke, 1972; Stull, 1997). Se le superfici marcano il confine inferiore dei BL, il suo confine superiore è rappresentato dalla libera atmosfera.

Il principale fattore che determina le peculiarità dello strato limite è il bilancio energetico di superficie, il quale esprime come gli input energetici e cioè la radiazione netta  $R_n$  e le emissioni energetiche umane (Ca) che hanno peso rilevante negli ecosistemi urbani, sono utilizzati per:

1. riscaldare l'aria a contatto con il suolo (innescando un flusso di calore sensibile  $H^1$ );
2. evaporare, o traspirare se ci sono dei vegetali, l'acqua (innescando un flusso di calore latente LE);
3. riscaldare l'interno del suolo (innescando un flusso di calore nel suolo G).

Per una superficie in equilibrio energetico (energia in ingresso pari a quella in uscita), considerati positivi i flussi diretti verso la superficie e negativi quelli che se ne allon-

<sup>1</sup> I termini calore sensibile e calore latente sono molto antichi e vengono da un'epoca remota in cui si pensava che il calore fosse una sostanza. Il calore sensibile è tale in quanto può essere "sentito" e cioè percepito da noi e dai nostri strumenti; il calore latente è invece una forma "occulta" di calore, immagazzinata dall'acqua durante i processi di fusione ed evaporazione e liberata nei processi inversi (condensazione e solidificazione)..

tanano e trascurati i termini di accumulo, varrà la relazione:

$$R_n + G + H + LE + Ca = 0 \quad [1]$$

Con riferimento ai termini di tale equazione vediamo dunque di descrivere gli effetti urbani più caratteristici.

La radiazione netta ( $R_n$ ) è frutto del bilancio tra la radiazione solare globale in arrivo  $R_g$  [ $W m^{-2}$ ] al netto dell'albedo  $A$  [%], e l'emissione di radiazione a onda lunga della superficie della Terra  $RL$  [ $W m^{-2}$ ]; i gas serra, insieme alle nubi e al pulviscolo atmosferico, agiscono sul termine  $RL$ , intercettandolo in parte e reirradiandolo verso il suolo. In tal modo limitano il raffreddamento della superficie terrestre per irraggiamento verso lo spazio. Pertanto varrà l'equazione

$$R_n = R_g \cdot (1 - A) - RL \quad [2]$$

con riferimento ai termini della (2) l'urbanizzazione agisce anzitutto sull'albedo, frazione della radiazione solare riflessa verso lo spazio. Infatti, nel caso di vegetazione spontanea o coltivata, l'albedo è dell'ordine del 20-30%, mentre nelle città il valore è mediamente più basso, fino a valori inferiori al 5% nel caso di superfici asfaltate. In altri termini la superficie urbana assorbe più energia solare rispetto alle aree rurali. Inoltre l'emissione nell'infrarosso delle superfici  $RL$  viene in parte intrappolata nei *canyon* urbani e reirradiata verso terra; lo stesso effetto è dato dalla cappa di pulviscolo che sovrasta le aree urbane e che riduce da un lato la radiazione solare entrante e dall'altro la radiazione netta uscente  $RL$ .

In complesso dunque le aree urbane rispetto a quelle rurali sono più ricche d'energia e tale squilibrio si acuisce ulteriormente in virtù delle fonti di calore umane (combustioni  $Ca$ ).

Con riferimento al termine  $H$  e considerando i soli flussi verticali, potranno aversi tre casi:

- convergenza del flusso: flusso  $H$  in ingresso nel volume d'aria (per cessione da parte delle superfici sottostanti) superiore a quello in uscita; la conseguenza è il riscaldamento del BL;
- divergenza del flusso: flusso  $H$  in ingresso nel volume d'aria inferiore a quello in uscita; la conseguenza è il raffreddamento del BL;
- flusso non divergente: flusso  $H$  in ingresso pari a quello in uscita; temperatura del BL stazionaria.

In pratica in giornate soleggiate e con tempo stabile il BL urbano cede con facilità calore alla libera atmosfera per rimescolamento verticale e dunque si riscalda poco rispetto al BL rurale; viceversa di notte, con l'esaurirsi dell'effetto del soleggiamento, i movimenti verticali si attenuano sensibilmente per cui il calore emesso dalle superfici ristagna nel BL (convergenza). E' infatti nella fase notturna che si osserva la maggior differenza di temperatura fra BL urbano e BL rurale.

Pertanto il termine  $H$  gioca un ruolo chiave nel determinare la temperatura della massa d'aria che sovrasta la città. Infatti a parità di comportamento del BL urbano e rurale in termini di cessione di calore alla libera atmosfera che li sovrasta, la temperatura dei due sistemi dipenderà dall'entità del calore sensibile ceduto dalle superfici al

BL. Da questo punto di vista si può rilevare che in aree rurali, in una giornata estiva, è comune osservare che il 60-80% di  $R_n$  è utilizzata dalle piante per evapotraspirare acqua (termine  $LE$ ) e solo il 20-40% per riscaldare l'aria (termine  $H$ )<sup>2</sup>; nelle aree urbane invece la scarsità di vegetazione e d'acqua evaporabile fanno sì che il flusso di calore latente sia di molto ridotto rispetto a quelle rurali, per cui il flusso d'energia che compensa  $R_n$  e  $Ca$  è in gran parte in forma di calore sensibile  $H$ <sup>3</sup>.

È immediato osservare che al diminuire del rapporto  $H/LE$  diminuisce il potere di una superficie di riscaldare l'aria sovrastante, per cui le diverse superfici possono essere ordinate dalla meno attiva alla più attiva, così come segue:

Acqua → Foresta → Prato → Cereali e altre coltivazioni  
→ sabbie → roccia o aree urbanizzate

La questione è in realtà più complessa, perché differenze di colore, rugosità, umidità e capacità di intrappolare la radiazione a onda lunga possono assumere un'importanza pari o superiore rispetto alla natura delle superfici. In ogni caso è importante evidenziare che l'effetto di una foresta sul bilancio energetico si esplica non solo a livello di ciclo del carbonio (sottrazione di  $CO_2$  all'atmosfera e contenimento dell'effetto serra) ma anche ed in modo assai più immediato traspirando grandi quantità d'acqua.

Da quanto affermato consegue che le attività umane che modificano la superficie del pianeta (deforestazione, messa a coltura o abbandono dell'attività agricola, costruzione di dighe, tombinamento dei corsi d'acqua, bonifica e prosciugamento, ecc.) sono in grado di provocare sensibili variazioni della temperatura, agendo sul termine  $H$  del bilancio energetico. Varrà dunque la regola generale secondo cui, se si privilegiano aree umide, foreste e prati o se si estendono le superfici irrigate, lo strato limite presenterà un microclima più umido e fresco, mentre se si elimina la copertura vegetale si andrà verso un microclima più caldo e arido.

Ci siamo fin qui limitati a considerare i flussi verticali di energia nel BL. In merito ai flussi orizzontali basti osservare che nell'ambito rurale le brezze possono esplicitare appieno il loro effetto omogeneizzando il calore sensibile fra zone più calde (terreni arati, colture in stress idrico, ecc.) e zone meno calde (superfici idriche, colture irrigue, vegetazione naturale, ecc.); nell'ambito urbano invece le barriere costituite dagli edifici limitano notevolmente le brezze e ne vanificano in buona parte l'effetto refrigerante. Vediamo ora di sviluppare alcune considerazioni quantitative sull'isola di calore urbano: l'urbanizzazione dei suoli costituisce - insieme con il rilascio nell'atmosfera di gas serra - il tratto distintivo della moderna civiltà industriale ed implica l'impermeabilizzazione artificiale dello strato superficiale tramite un rivestimento costituito dai più svariati materiali edilizi (cemento, mattoni, asfalto, legno, tegole, pietra, marmi, vetro, plastica, ferro e metalli vari, ecc.).

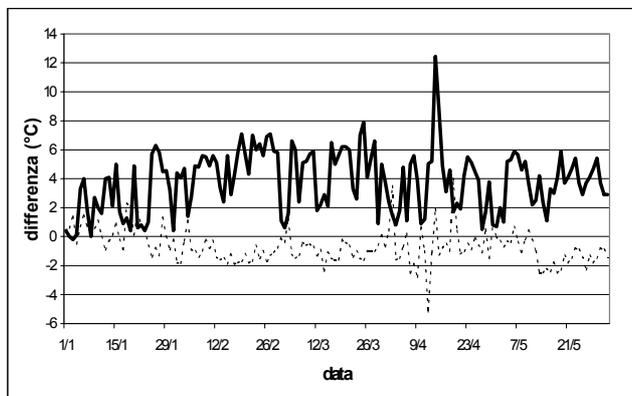
<sup>2</sup>il rapporto  $H/LE$  delle aree agricole e forestali dipende dalla disponibilità idrica, a sua volta legata alle precipitazioni ed all'irrigazione.

<sup>3</sup> che il rapporto  $H/LE$  tipico delle aree urbane trova riscontro a livello planetario nelle aree pre-desertiche, il che esprime in modo assai significativo l'impatto ecologico delle metropoli.

**Tab. 1** - Isola di calore urbano massima in città europee ed americane, secondo il modello di Landsberg (Oke, 1972).

**Tab. 1** – maximum Urban heat island in European and American cities, following the model of Landsberg (Oke, 1972).

Numero abitanti	UHI (°C)	
	Città europee	Città americane
1.000	2.0	3.4
10.000	4.0	6.1
100.000	6.0	8.9
500.000	7.4	10.8
1.000.000	8.0	11.6
2.000.000	8.6	12.4
3.000.000	9.0	12.9
4.000.000	9.2	13.2
5.000.000	9.4	13.5



**Fig. 1** –Isola di calore di Milano dal 1 gennaio al 1 giugno 2003 espressa come differenza fra le temperature della stazione sinottica di Milano Linate e quelle di una stazione urbana di via Modigliani, posta sul tetto di un edificio a 15 m di altezza sul piano stradale. Le linee indicano rispettivamente le temperature massime (---) e le minime (—). Differenze positive indicano che la stazione di via Modigliani è più calda rispetto a quella di Linate. Il valore massimo dell’UHI viene raggiunto il 14 aprile (12.5°C).

**Fig. 1** – Urban Heat Island of Milano for 1 January – 1 June 2003, expressed as the difference between data from synoptic station of Milano Linate and from Urban station of Milano – via Modigliani, located on a roof of a compound (of 15 m of height above the road floor). The lines show respectively maximum (---) and minimum (—) temperatures. A positive difference means that the station of via Modigliani is warmer than Linate station. The maximum UHI is reached in date 14 April

In particolare la differenza di temperatura tra urbano e rurale, correntemente definita isola di calore (in inglese *Urban Heat Island* o UHI) è l’espressione più caratteristica della diversità a livello di bilancio energetico e idrico. Nella figura 1 è riportato a titolo indicativo l’andamento dell’UHI per due stazioni dell’area milanese nel periodo 1 gennaio – 31 maggio 2003.

A livello globale Landsberg (1981) ha trovato che il valore medio di UHI è funzione della dimensione della città, secondo la relazione empirica:

$$\Delta t_{(u-r)} \text{ } ^\circ\text{C} = 0.1 d \quad [3]$$

in cui  $d$  = diametro della città in km,  $u$  = ambiente urbano,  $r$  = ambiente rurale. Lo stesso Landsberg (Oke, 1972) ha proposto un modello empirico per ricavare l’isola di calore massima, vale a dire la massima differenza di temperatura fra area urbana e area rurale, in funzione del numero di abitanti (tabella 1). Si tratta di valori di prima approssimazione e che tuttavia mostrano che anche un piccolo agglomerato urbano può dar luogo a temperature dell’aria significativamente diverse da quelle della campagna circostante. In proposito si vedano i dati relativi ad alcune aree urbane padane riportati da Sovrano (1998) e da Mariani e Sovrano (2001).

Scopo che si prefigge il lavoro è quello di indagare in termini quantitativi l’effetto urbano attraverso un approccio a micro ed a mesoscala.

## Materiali e metodi

Nei paragrafi precedenti abbiamo succintamente descritto i fenomeni fisici alla base dell’isola di calore urbano. Tali fenomeni sono descrivibili in termini quantitativi utilizzando modelli micrometeorologici fondati sul bilancio energetico di superficie.

In particolare al fine di dimostrare che le differenze (in termini di albedo, di rapporto fra calore latente e calore sensibile, ecc.) esistenti fra urbano e rurale sono descrivibili matematicamente, gli autori hanno sviluppato un modello di simulazione semplificato che ha come input il dato di radiazione solare globale ( $R_g$ ) e umidità relativa ( $R_h$ ). Il modello opera con step orario e si basa sull’ipotesi che la superficie  $S_1$  rispetto alla quale viene redatto il bilancio energetico presenti un flusso di calore sensibile verso una superficie limite  $S_2$  posta a distanza tale da non risentire dell’escursione termica diurna. Nell’esempio qui riportato, riferito all’inizio di aprile,  $S_2$  è rappresentata dalla superficie isobarica di 950 hPa che in quel periodo si suppone non essere influenzata dal suolo e la cui temperatura media giornaliera (11°C) è stata stimata a partire dalla temperatura delle ore 12 a 850 hPa riportata dalle carte sinottiche, applicando un gradiente di 0.6°C/100 m.

Nel modello la radiazione netta a onda lunga (termine dell’equazione 2) viene stimata con la classica equazione di Brunt (Sutton, 1953):

$$RL = \sigma \cdot (T_a + 273.02)^4 \cdot (1 - a - b \cdot (e_a)^{0.5}) \cdot (1 - ac \cdot C)) \cdot S_{vc} \quad [4]$$

Ove  $\sigma$  è la costante di Stefan Boltzmann,  $T_a$  è la temperatura dell’aria,  $e_a$  è la tensione di vapore attuale,  $C$  è la copertura nuvolosa in decimi ed  $ac$  è un coefficiente legato al tipo di nube (vale 0.2 per i cirri, 0.65 per i cumuli e 0.85 per gli strati);  $a$  e  $b$  sono coefficienti empirici per i quali si sono adottati i valori ( $a=0.44$ ;  $b=0.080$ ) riportati da Sutton (1953) ed infine  $S_{vc}$  è il fattore di visione del cielo (tabella 2) che rende ragione della percentuale di cielo visibile dal punto cui si riferisce l’elaborazione.

Il flusso di calore latente  $LE$  viene considerato nullo per  $R_n \leq 0$  mentre per  $R_n > 0$  si applica l’equazione seguente:

$$LE = -Cf0 \cdot Rn \quad [5]$$

ove  $Cf0$  (Tabella 2) esprime la percentuale di  $Rn$  trasformata in calore latente.

Il flusso di calore nel suolo  $G$  viene anch'esso espresso in funzione di  $Rn$  attraverso la seguente equazione:

$$G = cf1 - cf2 \cdot Rn \quad [6]$$

Ove  $cf1$  e  $cf2$  (tabella 2) sono coefficienti empirici.

Attingendo alla tabella 2 per i valori di  $Ca$  (flusso di calore di origine antropica) disponiamo così di tutti gli elementi necessari per ricavare il flusso di calore sensibile a partire dall'equazione (1) che diviene:

$$H = -(Rn + G + LE + Ca) \quad [7]$$

Infine la temperatura di superficie viene ricavata con l'equazione:

$$T_s = T_{950} + \Delta z \cdot (-H_{h-hdelay} / (r_0 \cdot c_p \cdot KH)) \quad [8]$$

ove  $T_{950}$  è la temperatura media giornaliera a 950 hPa,  $\Delta z$  (pari a 550 m) è la differenza di quota fra il suolo e la superficie di 950 hPa,  $KH$  [ $m^2 s^{-1}$ ] è il coefficiente di scambio turbolento per il calore sensibile per il quale si adotta il valore medio per i primi 1000 m di atmosfera ( $5 m^2 s^{-1}$ ) indicato in Dutton (1986).

Un'importante semplificazione introdotta nell'equazione (8) consiste nell'utilizzare il flusso di calore sensibile al tempo  $h-hdelay$ , e cioè il flusso ricavato con la (7) e riferito a  $hdelay$  ore prima, per imporre al sistema un effetto volano che descriva il ritardo nel raggiungimento del massimo termico diurno in aria rispetto al massimo di radiazione solare.

Per il nostro esperimento di simulazione dell'andamento termico in 24 ore per una stazione rurale (stazione di Montanaso della rete dell'Ufficio centrale di Ecologia Agraria) e per una stazione urbana (stazione di Milano - via Modigliani) si è scelto il primo aprile 2004, giornata caratterizzata da condizioni anticicloniche con cielo sereno e vento debole.

## Risultati e discussione

I risultati ottenuti (figure 2, 3 e 4) appaiono discretamente accurati, pur in presenza di qualche imprecisione nelle ore serali. Le prestazioni del modello sono quantificate attraverso gli indici riportati in tabella 3.

Abbiamo fin qui discusso dell'effetto urbano a livello microclimatico mostrando come tale effetto sia descrivibile in termini matematici. Se invece parliamo di quantificazione dell'effetto urbano sul macroclima (clima planetario o di grandi aree geografiche), effetto che a prima vista possiamo ritenere di entità limitata, ci accorgiamo che la stima quantitativa per mezzo di modelli meccanicistici appare proibitiva in virtù del fatto che l'energia dallo strato limite si disperde in un volume ben più grande, la libera atmosfera, la quale fino al limite della stratosfera è alta in media 10-12 km alle nostre latitudini.

Un possibile approccio a tale problema potrebbe basarsi sull'adozione di un modello concettuale di cambiamento climatico di tipo circolatorio (Lamb, 1966 e 1977)

**Tab. 2** – parametrizzazioni adottate in il modello di stima delle temperature orarie.

**Tab. 2** – parameters adopted in the model for the estimation of hourly temperatures

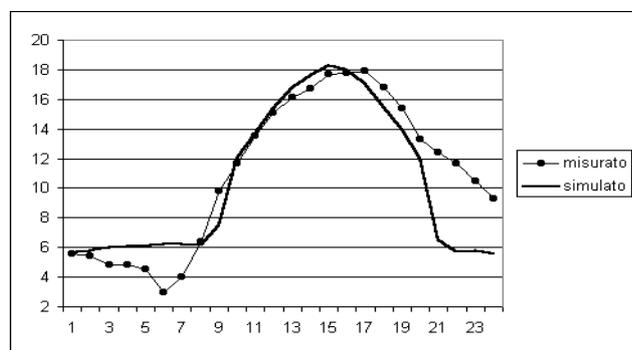
Parametro	Unità	Milano	Montanaso
Fattore di visione del cielo	%	0.55	1
Albedo	%	0.1	0.25
Flusso di calore di origine Antropica (Ca)	W m <sup>-2</sup>	10	0
Cf0	%	0.35	0.65
Cf1	-	0	20
Cf2	-	0.41	0.10
Hdelay	ore	4	2
Vento costante considerato	M s <sup>-1</sup>	2	2

**Tab. 3** – indici di performance del modello per la stima delle temperature orarie.

**Tab. 3** – indexes of performance of the model for the estimation of hourly temperatures.

stazione	Media Osserva- zioni	Media Stime	MAE	RMSE	EF	CRM	CD
Milano via Modigliani	14.03	13.08	1.13	11.69	0.74	0.07	1.12
Montanaso	11.01	10.41	1.70	21.95	0.77	0.05	0.98

MAE=errore medio; RMSE=errore quadratico medio; EF=efficienza del modello; CRM=coefficiente di massa residua; CD=coefficiente di determinazione; R2=coefficiente di correlazione



**Fig. 2** – temperature orarie misurate e stimate per la stazione di Montanaso

**Fig. 2** – Hourly temperatures measured and simulated for the station of Montanaso

secondo il quale ogni cambiamento nel bilancio energetico del pianeta si traduce in modifiche della posizione delle grandi strutture circolatorie (anticiclone delle Azzorre, grandi correnti occidentali, ecc.); tali modifiche di posizione causano a loro volta il cambiamento della frequenza e persistenza dei tipi di circolazione che influenzano un dato territorio (nel caso dell'Italia si pensi ad esempio alla frequenza e persistenza delle situazioni di foehn, di bora, di perturbazioni atlantiche, di situazioni anticicloniche, ecc.); tale cambiamento a sua volta perturba i valori delle grandezze meteorologiche al suolo (temperatura, precipitazione, vento, radiazione, ecc.) ed influenza così il bilancio energetico di superficie; quest'ultimo va a sua volta ad

incidere sulla posizione delle grandi strutture circolatorie e così il ciclo si chiude.

Occorre peraltro considerare che il segnale legato alle maggiori temperature urbane è almeno in parte<sup>4</sup> incorporato nei dati che esprimono l'andamento climatico globale, poiché le serie storiche di molte stazioni risentono dell'effetto urbano. Comunque il nocciolo del problema è che chi vive in aree urbane (cioè oltre la metà della popolazione mondiale, e domani quasi tutta) deve fare i conti più con l'effetto urbano che con il cambiamento climatico globale. E se il global warming ha comportato un aumento delle temperature medie di 0.5-0.6 °C in un secolo, nello stesso periodo l'effetto delle grandi realtà urbane è stato in molti casi superiore. Ad esempio, la città di Milano in 158 anni ha manifestato un aumento complessivo della temperatura dell'aria al suolo di 2.54°C per la massima e di 0.88°C per le minime (Chlistovsky, Buffoni e Maugeri, 1997).

### Conclusioni

E' a questo punto lecito domandarci perché il riscaldamento urbano sia così spesso sottovalutato o ignorato. Da una parte l'effetto serra affascina e intimorisce l'immaginario collettivo, dall'altra gli effetti negativi della città sono volutamente ignorati perché mettono in discussione la crescita urbana, che è l'essenza della moderna civiltà di massa ed il motore dell'industria del mattone la quale, tanto nei momenti di ristagno e crisi economica (caso dell'Occidente) tanto nei momenti di forte crescita del Pil (caso della Cina, India e altri Paesi emergenti), alimenta gli appetiti dei grandi capitali finanziari e del risparmio privato.

Per inciso, un effetto che aggrava l'impatto climatico dei processi di urbanizzazione e che li accomuna una volta di più alla desertificazione, è la loro irreversibilità, il che ci porta al paradosso per cui è più semplice ridurre le emissioni di gas serra che riportare allo stato naturale superfici che siano state urbanizzate.

A questo punto, anche se ogni ricetta preconfezionata mostra limiti notevolissimi, perché impatta su un sistema socio-economico a flessibilità assai ridotta, riteniamo importante indicare alcuni percorsi virtuosi utili ad arginare l'enorme e multiforme problema (climatico e non solo) aperto dall'urbanizzazione.

L'obiettivo fondamentale da perseguire è quello dell'effettiva tutela dei suoli agricoli e naturali, da realizzare attraverso rigorose politiche territoriali e con l'inasprimento delle regole urbanistiche, oggi in Italia assai blande e permissive. Cosa non difficile, se si pensa che il nostro Paese sta attraversando una fase di stagnazione economica e industriale e che la popolazione fa segnare aumenti modesti o addirittura flessioni! Inoltre, è urgente avviare un sistematico monitoraggio dello sviluppo urbano ed in tal senso le immagini da satellite o da aereo possono fornire dati utilissimi, superando la frammentarietà, limitatezza e difficoltà d'aggiornamento delle statistiche ufficiali oggi disponibili.

<sup>4</sup> la depurazione delle serie storiche dagli effetti urbani si basa su opportune procedure statistiche che tuttavia non sono garanzia di un risultato totalmente efficace.

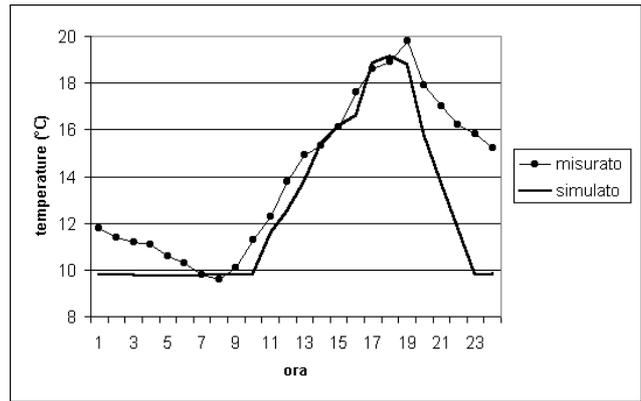


Fig. 3 – temperature orarie misurate e simulate per la stazione di Milano – via Modigliani

Fig. 3 – Hourly temperatures measured and simulated for the station of Milano – via Modigliani

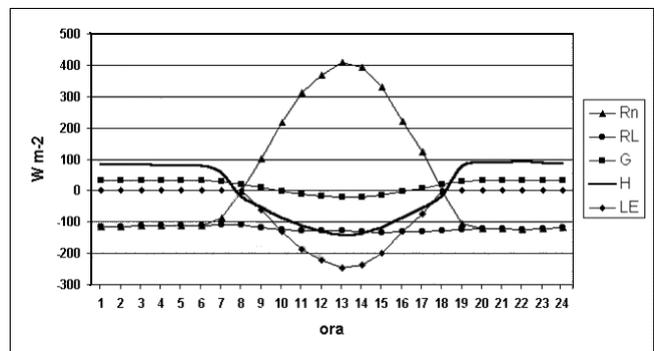


Fig. 4 – andamento dei termini del bilancio energetico di superficie modellizzati per la stazione di Montanaso (1 aprile 2004).

Fig. 4 - daily evolution of different variables of surface energy balance simulated for the station of Montanaso (1 april 2004).

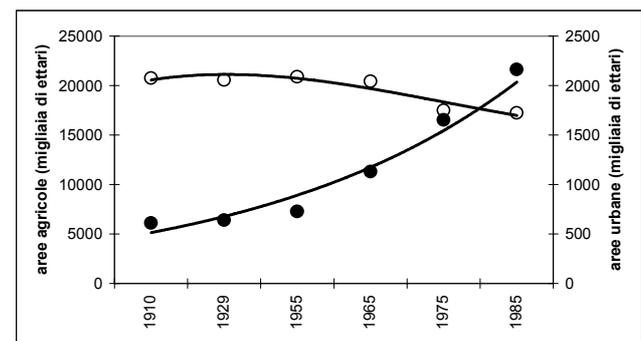


Fig. 5 – evoluzione della superficie agricola e di quella urbana in Italia secondo le fonti ufficiali – elaborazioni su dati INEA (Istituto Nazionale di Economia Agraria 1990).

Fig. 5 – evolution of agricultural and urban areas according to official statistics – INEA, National Institute of Agricultural Economy, 1990.

Preoccupa certo anche lo stato delle reti di monitoraggio meteorologico nel nostro Paese, la cui cronica disorganizzazione impedisce spesso di descrivere quantitativamente i processi di cui abbiamo parlato in questo articolo.

Anche i modelli semplificati citati in questo lavoro meritano di essere superati da modelli più performanti che

possano supportare efficacemente quanti sono chiamati a valutare gli effetti urbani in termini quantitativi. A tale proposito immaginiamo che il nostro Paese, proprio per la sovrabbondanza di aree urbane, possa per lo meno rivelarsi una palestra unica per quanti studiano gli effetti urbani sul clima.

In conclusione si pone un problema culturale che va ben al di là delle normative più o meno vincolistiche; il problema dell'urbanesimo si può infatti affrontare con speranza di successo solo facendo radicare nei cittadini una cultura ambientale fatta di rispetto per il territorio e di parsimonia nell'uso della risorsa suolo, bene limitato e da conservare per le future generazioni.

### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il dott. Teodoro Georgiadis del CNR per gli utili consigli ricevuti nella fase di stesura del presente lavoro.

### Bibliografia

- Chlistovsky F., Buffoni L., Maugeri M., 1997. *La temperatura a Milano - Brera*, Edizioni CUSL, 200 pp;
- Dutton J.A., 1986. *Dynamics of atmospheric motion*, Dover Publications Inc. New York, 617 pp;
- Istituto Nazionale di Statistica. 2003. *5° Censimento generale dell'agricoltura, Dati per regione sulla situazione dell'Italia*: [www.istat.it](http://www.istat.it);
- Istituto Nazionale d'Economia Agraria. 1990. *Annuario dell'agricoltura italiana*, INEA, Il Mulino, Bologna, XLIV: 439-451;
- IPCC, 2001. *Third Assessment Report on Climate Change*, Cambridge University Press: [www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/);
- Lamb H. H. 1966. *The changing climate*, Methuen, London: 236 pp;
- Lamb H. H. 1977. *Climate, present, past and future*, Methuen, London: 545 pp.
- Landsberg H. E.. 1981. *City Climate*. In Landsberg H. E. (Ed). *General Climatology, World Survey of Climatology*. Elsevier, Amsterdam, Vol. 3: 299-334;
- Mariani L., Sovrano Pangallo G.. 2001. *Effetti urbani di piccoli centri della pianura padana sulla temperatura dell'aria*, *Acqua & Aria*, 6: 97-104;
- Munn R. E. 1966. *Descriptive micrometeorology*, Academic Press: 198 pp;
- Oke, T.R.1972. *Boundary layer climates*, Methuen, London: 372 pp;
- Sovrano Pangallo G.. 1998. *Effetti urbani su temperatura dell'aria e precipitazioni nell'area padana*, *Acqua & Aria*, 9: 95-104;
- Stull R. B. 1997. *An introduction to boundary layer meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 670 pp;
- Sutton O.G., 1953, *Micrometeorology*, McGraw Hill, 345 pp;

### Appendice :

#### Urbanizzazione in Italia: alcuni dati statistici

Oggi la città cresce a ritmi vertiginosi, sia all'est sia all'ovest, sia nelle forme della megalopoli, sia in quelle della città diffusa con un effetto sul clima che mette a dura prova lo stato igienico e sanitario della popolazione.

A tale riguardo non sappiamo se i casi di aumento della mortalità a carico degli anziani registrati la scorsa estate in alcune grandi città europee siano da attribuire in modo diretto al riscaldamento urbano ed è pertanto auspicabile una risposta netta da parte dell'autorità sanitaria; tuttavia tali casi costituiscono un campanello d'allarme e gettano una luce sinistra sulle attuali forme di urbanizzazione selvagge e incontrollate.

Quanto al nostro Paese, le statistiche ufficiali mostrano per le aree urbane livelli di crescita molto vicini a quelli esponenziali, sulla base di specifiche indagini congiunte dell'Inea e dell'Istat (Figura 5). Purtroppo non sono note agli autori stime più recenti e statistiche correnti sull'uso del territorio, riferite all'intero territorio nazionale. Le più recenti acquisizioni sono principalmente basate sul progetto Corine varato negli anni Ottanta dal Consiglio della C.E.E. e sulle connesse metodologie innovative (immagini satellitari, ecc.). In particolare alcune esperienze effettuate dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito dell'Osservatorio del paesaggio e documentate su Internet, mostrano che in questi ultimi decenni l'occupazione urbana del territorio è aumentata enormemente nelle aree di pianura e meno in quelle montane.

Pare proprio che il destino sia quello di andare verso la progressiva sparizione dei suoli agricoli, fatto che è già una realtà in territori come la costiera ligure, la Brianza e la cintura milanese. Del resto i dati provvisori del 5° Censimento dell'agricoltura (ISTAT, 2003) evidenziano che intere regioni del sud e del nord sono uscite dal novero delle regioni agricole, con più del 20% di superficie agraria e forestale perduta nell'ultimo decennio.