

## IL CLIMA URBANO: DIAGNOSI E PREVISIONE

Roma, 12 giugno 2008

CNR, Aula Marconi

### **Gli osservatori meteo-climatologici Una base di dati per lo studio dell'ambiente urbano**

Sergio Borghi, Osservatorio Meteorologico di Milano Duomo

[sergio.borghi@meteoduomo.it](mailto:sergio.borghi@meteoduomo.it)

#### PREMESSA

L'Organizzazione Meteorologica Mondiale, agenzia delle Nazioni Unite che coordina le attività in campo meteo-idrologico e climatico a livello internazionale, per celebrare l'entrata in vigore dell'organizzazione stessa, avvenuta nel 1953, indica ogni anno un tema, al quale ispirare convegni, dibattiti ed eventi su argomenti e problematiche di grande attualità e interesse, per qualche aspetto legati al tempo e al clima.

Il tema indicato quest'anno è: *"Observing our planet for a better future"*

I dati forniti da innumerevoli serie climatiche o provenienti dai più svariati archivi naturali (carotaggi di ghiacciai, analisi dendrologiche e di stratificazione dei fondali marini, ...) lasciano pochi dubbi sul fatto che la tendenza al riscaldamento globale iniziata a metà del XIX secolo sia ancora in atto, pur se con una attuale leggera flessione. Il ruolo dell'osservazione sta perciò assumendo una capitale importanza nello studio del clima, ed in particolare di quello urbano, soprattutto quando una serie di misure di parametri atmosferici sia disponibile per un lungo periodo. L'ambiente fisico delle città, a differenza di quello naturale, può presentare una variabilità ed un trend climatici molto più accentuati di quelli dell'ambiente extraurbano, soprattutto a causa delle superfici artificiali introdotte nell'urbanizzazione del territorio, che tendono ad alterare ogni forma di interazione tra la superficie e l'atmosfera, specialmente quando si vogliono considerare ad esempio i processi radiativi o gli scambi di calore sensibile e latente, piuttosto che i regimi idrologici, questi ultimi fortemente condizionati dalle impermeabilizzazioni della superficie dovute ai diversi usi del suolo.

È quindi di estrema importanza poter disporre di serie storiche di dati meteorologici rilevati in ambiente urbano per poter seguire l'evoluzione del clima urbano, spesso molto diversa da quella degli ambienti periferici anche quando non sono molto distanti dal cuore della città.

USO DI SERIE STORICHE SUFFICIENTEMENTE LUNGHE DI DATI METEOROLOGICI RILEVATI IN AMBIENTE URBANO

#### Il campo termico

Quando un'area urbana risulta sufficientemente estesa, in condizioni di tempo stabile (ventilazione debole e nuvolosità scarsa) tende a crearsi la cosiddetta "isola di calore", vera e propria bolla d'aria calda che sovrasta la città e che in prossimità della superficie si manifesta con una forte differenza tra la temperatura dell'aria della parte centrale della città e quella della lontana periferia. Le caratteristiche del fenomeno dipendono dal tipo di urbanizzazione (maggiore o minore presenza di aree verdi, tipi di pavimentazione stradale, diverse coperture

degli edifici, ecc.) e condizionano spesso in maniera determinante la qualità dell'aria che tende a ristagnare facendo aumentare le concentrazioni degli inquinanti. Quando invece il tempo è perturbato, la sufficiente ventilazione o, in certa misura le precipitazioni, rendono più uniforme il campo termico, per cui l'isola di calore tende a distruggersi.

Lunghe serie storiche di rilevamenti, non solo di temperatura, posso servire per comprendere i meccanismi che regolano la formazione, la persistenza ed il dissolvimento dell'isola di calore. In particolare può essere di grande utilità un approccio climatologico dinamico, in cui la variabilità delle condizioni meteorologiche locali è collegata all'avvicendamento delle strutture circolatorie a scala maggiore. Nel caso particolare di Milano, la presenza dell'isola di calore e certi suoi aspetti strutturali sono stati messi in relazione ai tipi di circolazione esistente a scala euro-mediterranea, dei quali esiste una classificazione giornaliera, basata su 10 tipi, che parte dal 1976.

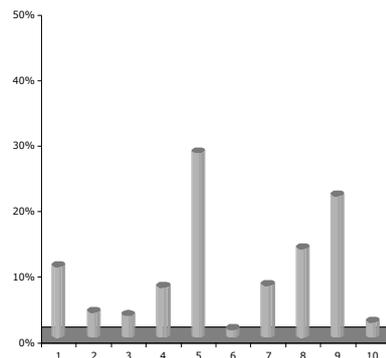


Fig. 1 - Frequenze dei “tipi circolatori”. I tipi da 1 a 4 rappresentano condizioni di tempo perturbato con elevata probabilità di pioggia su Milano. Il tipo 5 (alta pressione sul Mediterraneo) è legato alle condizioni tipiche di elevata stabilità. I tipi successivi, pur se non perturbati, sono spesso “dinamicamente attivi” (tipi: 6, foehn; 7, venti in quota moderati da nordovest; 8, venti in quota moderati da nordest; 9, venti da ovest deboli o moderati, con nuvolosità variabile; 10, bora).

Escludendo le precipitazioni (tipi da 1 a 4) e la ventilazione forte (tipi 6 e 10), le situazioni favorevoli alla formazione dell'isola di calore a Milano (tipi 5, 7, 8 e 9) sono superiori al 60-65% dei casi (Fig. 1). Il fenomeno da un punto di vista ambientale ha una portata rilevante e spesso si manifesta con intensità piuttosto elevate (Fig. 2).

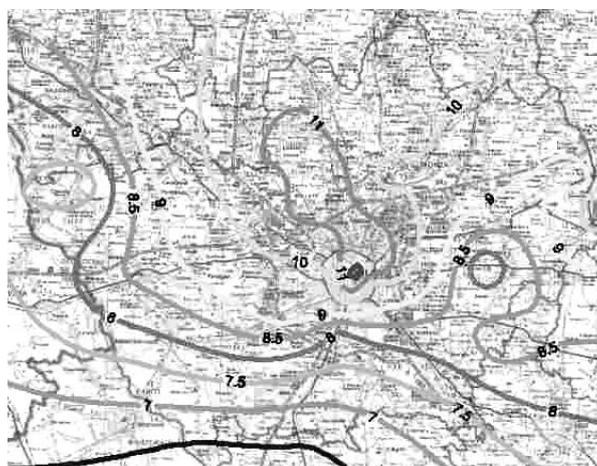


Fig.2 - Andamento dell'isola di calore di Milano alle ore 12 del 5 novembre 2003. Le temperature in superficie sono espresse in ° C.

Dalla Fig. 2 è possibile notare che la parte più calda dell'isola di calore si sviluppa dal centro della città verso nord, dove c'è l'area notoriamente più urbanizzata dell'hinterland di Milano. L'afflusso di aria più fredda, proveniente da sud, che interessa i territori ad ovest e ad est di Milano, è presumibilmente frutto delle brezze di valle che, nelle ore più calde della giornata, si sviluppano dal centro della Valle Padana verso i rilievi alpini e prealpini.

Presso l'Osservatorio Meteorologico di Milano Duomo (OMD) è stato messo a punto un modello dell'isola di calore urbana, basato su quattro equazioni di bilancio e di scambio [1], che esprimono rispettivamente:

- Eq. 1: Bilancio energetico sulla superficie degli edifici
- Eq. 2: Bilancio energetico sulla superficie del suolo
- Eq. 3: Flussi di calore sensibile all'altezza media degli edifici
- Eq. 4: Flussi di calore latente all'altezza media degli edifici

Il modello è unidimensionale (le celle non interagiscono tra di loro), ed è applicato a maglie di passo variabile, all'interno delle quali sono opportunamente descritte le caratteristiche del tessuto urbano. Un esempio di utilizzazione dell'output del modello è illustrato in Fig. 3.

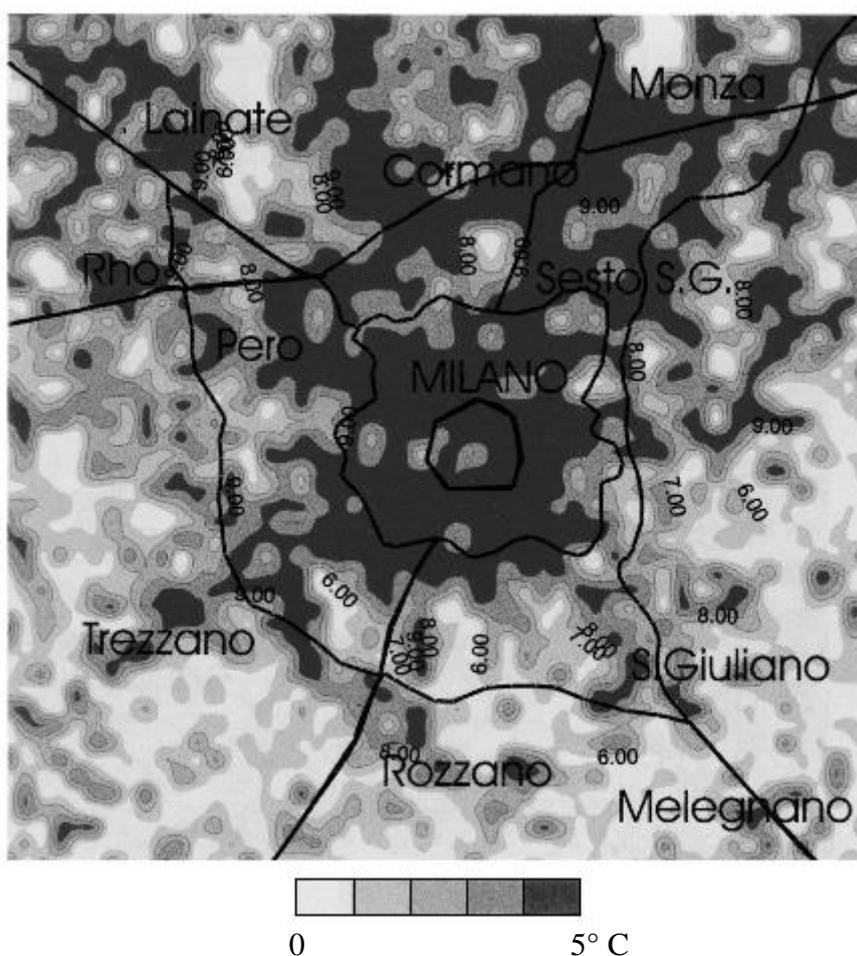


Fig. 3 - Area di 30x30 km<sup>2</sup> comprendente l'hinterland milanese. Il modello di diagnostica dell'isola di calore è applicato a celle orizzontali di 60 m di lato. Le differenze di temperatura sono rappresentate da toni di grigio che indicano in ogni

punto gli scostamenti, fino a 5° C, dalla temperatura più fredda, arbitrariamente posta uguale a zero e rappresentata dal tono più chiaro.

Un altro esempio di valutazione di un ipotetico “*urban warming*”, da confrontare con il più accreditato trend globale, è dato dall’analisi del trend recente della temperatura media annua delle città, posto a confronto con i rispettivi andamenti climatici normali.

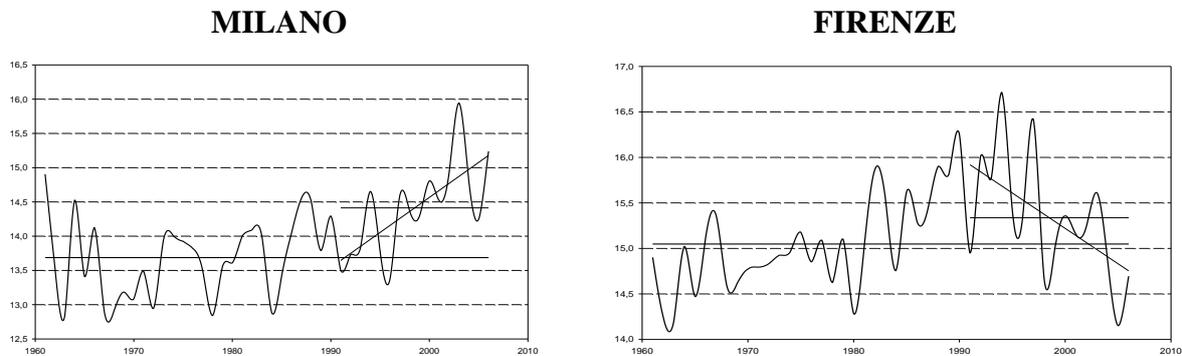
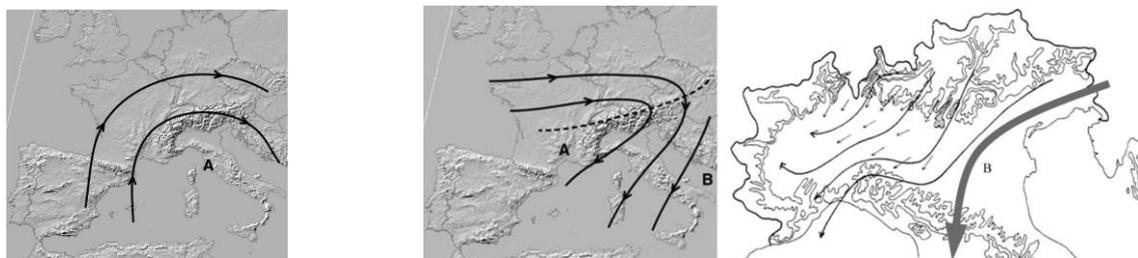


Fig. 4 - Temperatura media annua di Milano (OMD, a sinistra) e di Firenze (Osservatorio Ximeniano, a destra) dal 1960 al 2006. I grafici rettilinei orizzontali indicano le medie dei periodi 1961-90 (CLINO) e 1991-2006. I tratti obliqui indicano il trend durante l’ultimo periodo (1991-2006).

Nel caso di Milano si ha un trend crescente negli ultimi anni, mentre a Firenze il trend è decrescente, anche se le medie dei due periodi messi a confronto segnano comunque un aumento, sensibilmente minore per Firenze rispetto a Milano.

Una delle possibili spiegazioni va cercata nella diversa frequenza di condizioni circolatorie che si sono presentate sull’area centro-settentrionale italiana.



Tipo 5 - Regime anticiclonico

Tipo 8 - Correnti deboli su Milano, possibile afflusso freddo su Firenze

Fig. 5 - Caratteri medi dei tipi circolatori 5 e 8.

Come si può arguire dalla Fig. 5, mentre il “tipo 5” ha gli stessi effetti di determinazione di tempo stabile su entrambe le città, il “tipo 8” determina a Firenze un maggior apporto di aria fredda proveniente dalle regioni europee orientali.

### La distribuzione delle precipitazioni

Milano possiede una rete pluviometrica comunale dal 1885, costituita da circa 15 punti di rilevamento. La distribuzione delle precipitazioni sull’area metropolitana è stata ampiamente

studiata e nella Fig. 6 è riportata la distribuzione media per stagioni della quantità di precipitazione [2].

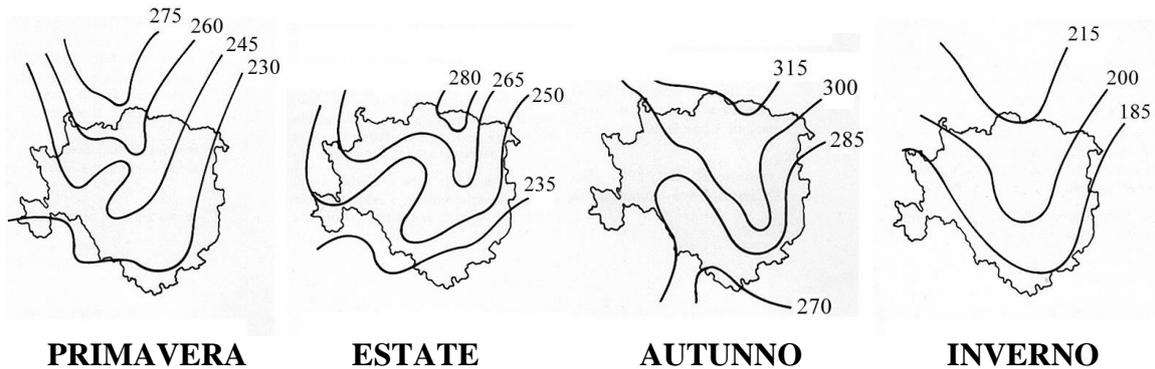


Fig. 6 - Distribuzione media stagionale a Milano delle precipitazioni in mm per il periodo 1895-1979 (A. Gentile, G. Spadoni - Comune di Milano, 1981).

Anche la quantità di precipitazione, durante episodi significativi è caratterizzata da distribuzioni areali che dipendono dal tipo di circolazione. Esaminando 103 episodi di pioggia nel periodo 1984-1988 ed utilizzando i 15 siti della rete pluviometrica del Comune di Milano [3] (gli episodi sono stati scelti in modo tale che 10 almeno delle 15 stazioni avessero registrato 10 o più millimetri di pioggia), si sono classificate le circolazioni che hanno dato queste piogge significative, ottenendo 10 tipi circolatori diversi, codificati con  $T = 1, \dots, 10$ . Si sono analizzate anche le distribuzioni delle precipitazioni ottenendo 9 classi, codificate con  $R = 1, \dots, 9$ , riportate in Fig. 7, dove ai valori crescenti che contraddistinguono le aree rappresentate sul territorio di Milano, corrispondono quantità maggiori di precipitazione.

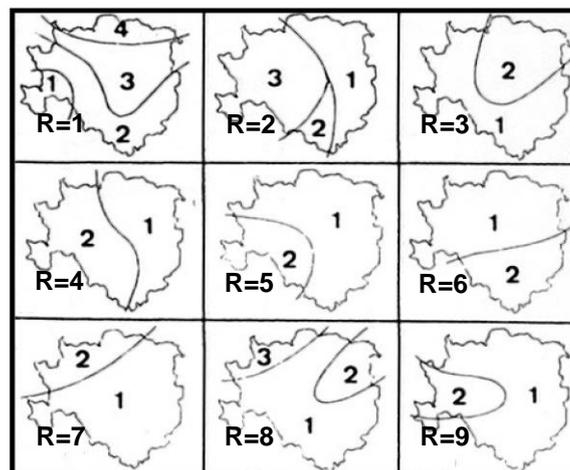


Fig. 7 - Distribuzione delle precipitazioni sull'area del comune di Milano. Classi indicate da  $R = 1$  ad  $R = 9$ . Nelle partizioni di ogni singola mappa, a valori riportati crescenti corrispondono quantità maggiori di precipitazione.

I 103 episodi significativi di pioggia hanno portato alla costruzione di una tabella di frequenze a doppia entrata (Tab. 1) da cui si nota una forte corrispondenza tra tipi circolatori e tipi di distribuzione delle precipitazioni sull'area di Milano.

Tab. 1 - Distribuzione delle classi di precipitazione con R da 1 a 9 in relazione ai tipi di circolazione, con T da 1 a 10.

R\T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28									
2		14					1			
3			11			12	2			
4				4						
5					15					
6							2			
7							3	4		
8									2	
9										5

### L'alterazione del campo del vento da parte della struttura dell'edificato urbano

La modellazione del campo del vento su un'area urbana incontra un problema cruciale, specialmente se si vogliono interpretare e possibilmente prevedere le deformazioni del flusso circolatorio nei bassi strati e gli effetti turbolenti.

Tale problema è costituito essenzialmente dalla stima della “roughness lenght”, o *rugosità* della superficie, indicata di solito con  $Z_0$ , legata essenzialmente alla geometria dell'edificato. Il modello utilizzato dall'OMD per Milano ha fatto ricorso per un primo studio alla Carta Tecnica del Comune di Milano, scala 1:5000, dalla quale sono state dedotte le superfici di base degli edifici e le rispettive altezze.

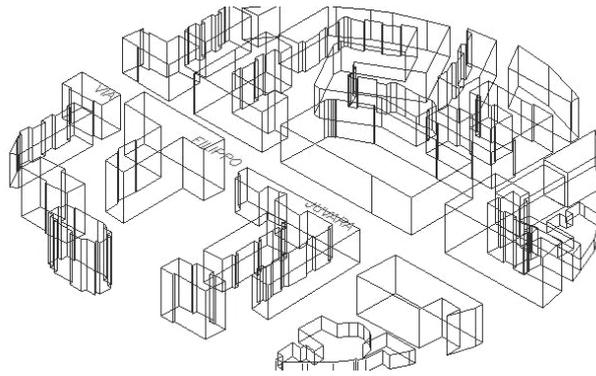
$Z_0$  è stato calcolato con un algoritmo proposto da Lettau [4]. Per un'areola prescelta della città si pone:

$$z_0 = \frac{h_{media}}{2 \cdot A}$$

ove  $h_{media}$  rappresenta l'altezza media degli edifici compresi nell'area ed

$A$  indica invece il rapporto tra l'estensione dell'area della sola parte coperta da edifici interessata e la sezione verticale presentata al flusso d'aria (cioè alla direzione del vento) dagli edifici della zona.

La Carta Tecnica di Milano ha consentito di rappresentare geometricamente l'area intorno a via Juvara, dove l'ARPA-Lombardia ha una stazione di rilevamento di qualità dell'aria, completa di anemometro. In Fig. 8 è rappresentata la sezione di impatto del vento nel caso in cui la direzione del flusso sia nord-sud oppure viceversa.



Assonometria della zona di via Juvara



Sezione dell'edificato opposta a venti provenienti da nord o da sud

Fig. 8 - Geometria dell'edificato della zona di via Juvara a Milano, utilizzata per il calcolo della rugosità media dell'area. Assonometria e sezione; nella sezione ciò che conta è la sky-line.

I valori di  $Z_0$  sono stati calcolati con serie storiche di dati di vento della stazione di via Juvara (che faceva parte fin dagli Anni '60 della rete provinciale per il monitoraggio della qualità dell'aria). Un ulteriore passo per la mappatura di  $Z_0$  è stato fatto; con procedimenti di media areale si sono ottenute distribuzioni di  $Z_0$  per otto direzioni principali di provenienza del vento.

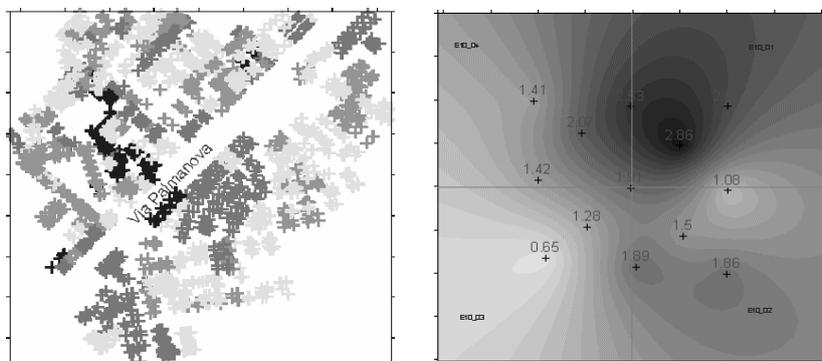


Fig. 9 – Nella figura a sinistra c'è la rappresentazione della distribuzione delle altezze degli edifici in una zona di Milano (toni più scuri indicano edifici più alti). A lato, il quadrante in alto a destra rappresenta, per l'area già considerata nella figura di sinistra, la distribuzione orizzontale del valore di  $Z_0$  espresso in metri per una ventilazione da nord oppure da sud.

L'utilizzazione di valori di  $Z_0$  così ottenuti come input di un modello di diffusione degli inquinanti potrebbe essere di grande aiuto. Disponendo infatti della direzione prevista per il vento alla scala dei modelli ad area limitata (LAM), con processi di down-scaling potrebbe essere descritto in modo più dettagliato il flusso dell'aria su un'area urbana di caratteristiche geometriche note, specialmente in termini di turbolenza indotta.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Tenuto conto che ormai più della metà della popolazione mondiale vive nelle aree urbane, e che in particolare in Europa tale porzione ha ormai superato il 70%, il clima urbano e la sua evoluzione, fortemente legata all'uso del suolo, destano ormai grande interesse. Vi sono sicuramente due fattori fondamentali, oltre alla collocazione e all'estensione di una città, che influenzano in maniera determinante l'evoluzione del suo clima. Uno sicuramente è l'uso del suolo, la cui evoluzione è parte fondamentale della stessa storia della città, l'altro invece è la sensibilità delle condizioni meteorologiche e della loro evoluzione in relazione al tipo di circolazione a mesoscala. L'evoluzione del clima urbano può fortemente scostarsi da quella del clima considerato su vaste aree, come ad esempio il clima globale. Per avere un monitoraggio del clima urbano e della sua evoluzione è importante avere serie storiche di osservazione possibilmente lunghe, effettuate nei centri storici delle città. Di solito questa è peculiarità dei vecchi osservatori storici, che vanno perciò tutelati ed opportunamente sostenuti per avere un supporto conoscitivo essenziale per ogni considerazione sull'ambiente urbano, specialmente in occasione di possibili interventi progettuali sul territorio.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. S. Borghi, G. Corbetta e L. De Biase (2000) - A heat island model for large urban areas and its application to Milan - *Il Nuovo Cimento*, Vol. 23 C, N. 5, 547-566.
2. A. Gentile e G. Spadoni (1981) - Il regime pluviometrico dell'area metropolitana milanese - Comune di Milano.
3. S. Borghi e B. Ciurlo (1993) - Rainfall distribution over the urban area of Milan - International Conference on Applications of Time Series Analysis in Astronomy and Meteorology - Università di Padova.
4. H.H. Lettau (1970) Physical and meteorological basis for mathematical models of urban diffusion processes - Atti del Symp on Multiple-source Urban Diffusion Models, US.EPA, Pub. No. AP-86.