

RUOLO DELLE AREE VERDI NELLA MITIGAZIONE DELL'ISOLA DI CALORE URBANA: UNO STUDIO NELLA CITTÀ DI FIRENZE

ROLE OF GREEN AREAS IN URBAN HEAT ISLAND MITIGATION: A CASE STUDY IN FLORENCE (ITALY)

Martina Petralli*¹, András Prokopp², Marco Morabito¹,
Giorgio Bartolini¹, Tommaso Torrigiani¹ e Simone Orlandini¹

¹: Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia –

Università degli studi di Firenze – Piazzale delle Cascine, 18 50144 – Firenze

²: Facoltà di Architettura Paesaggistica, Dipartimento di Progettazione Ambientale e Sviluppo del Territorio

Università Corvinus di Budapest, Ungheria, e-mail: krop@storage.hu

* Corresponding author: tel. +39 0553288257; fax +39 055332472 E-mail address: martina.petralli@unifi.it

Ricevuto 22 febbraio 2006, accettato 19 aprile 2006

Riassunto

L'isola di calore urbana (Urban Heat Island – UHI) è un fenomeno che interessa una molteplicità di discipline, dalla fenologia delle piante alla salute umana. La presenza di vegetazione in città ha un ruolo di mitigazione dell'isola di calore, che ha un valore ancora più determinante nel periodo estivo, quando in città le temperature dell'aria tendono a mantenersi alte anche durante le ore serali. In questo lavoro è stata analizzata la distribuzione della temperatura dell'aria nella città di Firenze in tre tipi di ambiente diverso: strada, cortile e giardino, indicando con cortile un'area verde di piccole dimensioni (inferiore a 500 m²) e delimitata da edifici. Inoltre, la temperatura dell'aria è stata messa in relazione con la distanza dal centro città, il numero medio degli edifici per km² e la loro altezza media. Attraverso questo studio è stato possibile notare che le temperature dell'aria sono più alte nelle zone del centro della città di Firenze ed in quelle ad esso limitrofe. Queste zone sono anche quelle caratterizzate da una minore presenza di aree verdi, da una maggiore concentrazione di edifici e da una maggiore altezza media degli edifici. Inoltre, è proprio in queste zone che si registra la maggior differenza di temperatura dell'aria tra ambiente stradale e giardini. È importante sottolineare che le aree verdi in città si comportano, nei confronti della temperatura dell'aria, in maniera molto simile alle zone rurali circostanti la città stessa: infatti, le temperature tendono ad aumentare più velocemente nei giardini nelle prime ore del mattino (fino alle 8 circa), a mantenersi sugli stessi valori o leggermente più basse durante le ore centrali della giornata, per diminuire più velocemente alla sera, quando, invece, si mantengono elevate per un numero maggiore di ore nelle strade.

Parole chiave: Biometeorologia, ondate di calore, temperatura dell'aria, giardini

Abstract

The Urban heat Island (UHI) it's a phenomenon that matters several subjects, from phenology to human health. City green areas have an UHI mitigation role that is much more important during summer, when air temperatures in the cities remain high during the evening. The air temperature distribution in the city of Florence was studied in this work according to three different settings: street, garden and courtyard, that is little garden (less than 500 m²) surrounded by walls. Furthermore, air temperature was analysed according to the distance from the center of the city, the mean number of buildings per km² and their mean high. As a result of this study, higher air temperatures were found in the center of the city and just near of it. These zones are even characterized by a smaller quantity of green areas, by a higher urban density and by higher mean height of buildings. Moreover, it is in these areas that the higher air temperature differences between streets and gardens were found. It is important to underline that green areas inside the city behaves, as to air temperature, as rural areas surrounding the city do: in fact, at the beginning of the day (up to 8 am), air temperature keeps high fast in the gardens than in the street, to maintain the same value or nearly lower during the afternoon and to reduce suddenly in the evening, when in the street they keep high for many hours.

Keywords: Biometeorology, Heat Waves, Air Temperature, Gardens

Introduzione

Le città sono caratterizzate da temperature più elevate rispetto alle zone rurali circostanti e, come hanno dimostrato numerosi studi climatologici, hanno anche temperature più alte rispetto al passato (Böhm, 1998; Hasanean, 2001; Rozbicki e Golaszewski, 2003). Questo fenomeno, denominato "isola di calore urbana" (*Urban Heat Island*, UHI), è determinato soprattutto dai materiali con cui le città stesse sono costruite e dalla maggiore attività

antropica che viene condotta al loro interno (Oke, 1973; Oke, 1982; Roth *et al.*, 1989; Quattrochi *et al.*, 2000).

Il fenomeno dell'UHI, maggiormente evidente nella stagione invernale e durante le ore notturne (Taha, 1997; Tereshchenko e Filonov, 2001), è particolarmente dannoso per la salute umana nella stagione estiva in corrispondenza delle ondate di calore in quanto la temperatura dell'aria in città, oltre a raggiungere valori più elevati rispetto alle aree rurali circostanti nelle ore diurne, si

mantiene elevata anche nelle ore notturne, riducendo la capacità di ripresa dell'organismo umano dalle condizioni di estremo calore a cui è stato sottoposto durante il giorno (Kalkstein e Davis, 1989). Sono numerosi gli studi che mettono in relazione gli eventi termici estremi con la morbilità e la mortalità (Rooney *et al.*, 1998; Smoyer-Tomic *et al.*, 2003; Sartor *et al.*, 1995; Kilbourne, 1997; Faunt *et al.*, 1995) ed alcuni sottolineano un maggior impatto sulla salute umana delle ondate di calore che si verificano nelle città rispetto alle aree rurali circostanti, specialmente tra le persone anziane e malate (Kilbourne, 1997; Rooney *et al.*, 1998).

Il problema dell'UHI estiva è particolarmente importante perché in crescente aumento a causa di un processo a *feedback* positivo per cui la presenza in città di temperature dell'aria elevate determina un maggior uso di condizionatori che, a sua volta, causa un ulteriore aumento della temperatura dell'aria e quindi dell'isola di calore stessa (Landsberg, 1981; Santamouris *et al.*, 2001; Nakamatsu *et al.*, 2003).

Il verde ha un ruolo fondamentale nella mitigazione dell'UHI: ha, infatti, un valore di albedo e di inerzia termica diversi dal materiale artificiale urbano, oltre a contenere una elevata concentrazione di acqua (Taha, 1997). Per quanto riguarda l'albedo, nel caso di vegetazione spontanea o coltivata, è dell'ordine del 20-30%, mentre, nelle città, è mediamente più basso, fino a valori inferiori al 5% nel caso di superfici asfaltate (Mariani e Sovrano Sangallo, 2005). Avendo un albedo maggiore, le aree verdi immagazzinano meno energia rispetto alle aree urbane, che viene poi riemessa soprattutto sotto forma di calore latente. Inoltre, gran parte dell'energia che assorbono viene utilizzata dalle piante stesse per i propri processi vitali, per cui la parte di radiazione che viene da loro riemessa diminuisce ulteriormente. I valori più bassi di albedo si traducono in un maggiore assorbimento della radiazione solare da parte dei materiali artificiali che hanno, inoltre, la capacità di cedere il calore molto lentamente. Questa emissione nell'infrarosso viene in parte intrappolata nei *canyon* urbani e quindi riassorbita dai materiali con cui questi sono costruiti, per poi essere nuovamente ceduta sotto forma di ulteriore calore: questo processo, detto *effetto canyon* (Arnfield *et al.*, 1999; Santamouris, 2001), aumenta nelle zone della città in cui i palazzi sono più alti e numerosi e dove le aree verdi sono assenti o in numero limitato. Infine, la rete di fognature e la presenza di un basso numero di aree verdi o di alberature stradali rispetto alla vasta superficie asfaltata, comportano una diminuzione dell'acqua disponibile per l'evaporazione e la traspirazione. Da questo punto di vista, in estate, la presenza di vegetazione è fondamentale perché, grazie all'evapotraspirazione, contribuisce ad abbassare la temperatura dell'aria.

Inoltre, la presenza di una vegetazione arborea in città, ha una funzione ombreggiante che, impedendo alla radiazione solare di riversarsi direttamente sui materiali artificiali, consente a questi ultimi di riscaldarsi meno e di riemettere una quantità minore di energia sotto forma di calore (Shashua-Bar e Hoffman, 2002; Shashua-Bar e Hoffman, 2003).

Oltre alla presenza o meno dell'area verde, è molto importante la sua dimensione per determinare la differenza

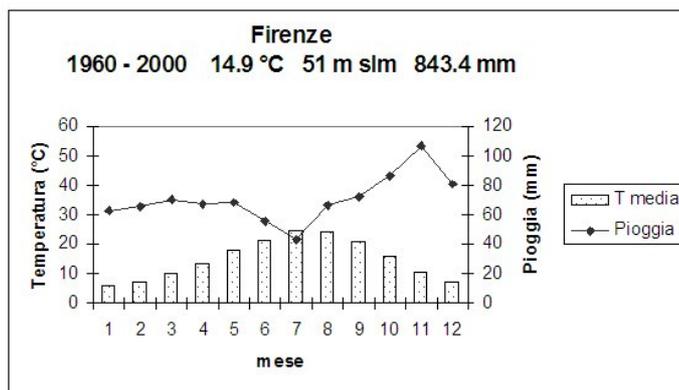


Fig. 1 – Diagramma di Walter e Lieth della città di Firenze
Fig. 1 – Florence' Walter and Lieth diagram

di temperatura dell'aria tra ambiente stradale o giardino, specialmente nelle ore del mattino e della sera (Morabito, 2004).

Scopo di questo lavoro è di osservare come si distribuisce la temperatura dell'aria all'interno della città Firenze in funzione della distanza dal centro città, del numero e dell'altezza media degli edifici presenti in modo da quantificare l'effetto rinfrescante delle aree verdi sulla temperatura dell'aria. Valori orari di temperatura dell'aria sono stati analizzati per verificare la presenza di andamenti diversi in funzione del momento della giornata.

Materiali e Metodi

La posizione del territorio urbano della città di Firenze è molto particolare: è circondato da colline e montagne a Nord, Sud e Est, mentre nella parte Ovest inizia una pianura in cui si sviluppano città contigue a Firenze (da Sesto Fiorentino, Prato, fino a Pistoia). Il clima è continentale temperato, con estati secche e molto calde ed inverni rigidi, mentre le stagioni intermedie sono caratterizzate da intense precipitazioni (Fig. 1).

Per lo svolgimento di questo lavoro, il territorio fiorentino è stato suddiviso in quattro fasce concentriche caratterizzate da una diversa distanza dal centro di Firenze e da una diversa densità urbana. La densità urbana è stata calcolata attraverso i dati dell'ultimo censimento edifici (2001) forniti dall'Ufficio di Statistica del Comune di Firenze: questo ufficio ha, infatti, suddiviso il territorio fiorentino in 72 aree omogenee alle quali ha attribuito i dati del censimento degli edifici del 2001. Da questi è stato elaborato il numero di edifici ed il numero di piani degli edifici presenti in ogni area estraendo un dato medio in base alla superficie e poi spazializzandolo sulle fasce di nostro interesse. Dai dati dell'ultimo censimento edifici risulta che il comune di Firenze ha una densità degli edifici compresa tra 26 e 1800 edifici per km², mentre l'altezza media varia tra 1.5 e 3.7 piani. Dall'elaborazione dei dati è risultato che il centro della città è caratterizzato da un maggior numero di edifici per km², mentre, allontanandosi dal centro, questo numero tende a diminuire. Per quanto riguarda, invece, il numero medio di piani, è risultato che le zone limitrofe al centro storico della città sono quelle col

maggior numero di piani, seguite dal centro storico; le zone della prima periferia della città e quelle ancora più esterne, invece, hanno gli stessi valori medi di numero di piani per edificio (<2.5 piani per edificio) ed hanno i valori più bassi delle altre zone. Questo significa che la conformazione della città è tale per cui nel centro è minore la presenza di aree libere da edifici (e quindi aree verdi) e gli edifici sono mediamente più alti rispetto a quelli delle zone meno centrali della città.

La distribuzione della città non è omogenea, ma tende ad orientarsi sulla linea est ovest. Per questo le fasce concentriche in cui è stato suddiviso il territorio non sono circolari, ma ellittiche, con l'asse maggiore posto sulla direttrice est-ovest. La distanza dal centro è stata, quindi, calcolata in questa direzione. Le quattro fasce concentriche sono state denominate Centro Uno (C I), Centro Due (C II), Fuori Uno (F I) e Fuori Due (F II).

I valori di altezza media degli edifici, del numero di edifici per km² e la distanza dal centro secondo l'asse maggiore dell'ellisse sono riportati per ogni zona in tabella 1. Da notare che tra la fascia F I e la fascia F II non cambia il numero medio di piani, ma solo la distanza dal centro città e il numero medio di edifici per km².

In ogni fascia della città così suddivisa, sono stati posizionati sensori di temperatura dell'aria in tre tipi di ambiente diverso: strada, cortile e giardino, intendendo

Tab. 1 – Riepilogo delle caratteristiche delle aree concentriche in cui è stato suddiviso il territorio fiorentino

Tab. 1 – Summary of the concentric areas feature

	C I	C II	F I	F II
Altezza media edifici (N° piani)	≤ 2.5 – 3 ≤	> 3	< 2.5	< 2.5
Numero medio di edifici per Km ²	> 1200	≤ 800 – 1200 ≤	≤ 200 – 800 <	< 200
Distanza dal centro città (Km)	< 2	≤ 2 – 4 ≤	< 4 – 6 ≤	> 6

per cortile un'area verde di piccole dimensioni (inferiore a 500 m²) circondata da edifici (Fig. 2). Nella fascia più esterna (F II) è stato possibile posizionare i sensori solo in giardini in quanto non erano disponibili le altre condizioni. Complessivamente sono state posizionate all'interno del territorio fiorentino 18 stazioni di temperatura dell'aria (HOBO Pro RH/Temp Logger mod. H08-032-08): queste sono state poste ad una altezza di circa 2 metri del suolo in modo da cogliere l'influenza delle strutture artificiali e naturali sulla variazione della temperatura dell'aria.

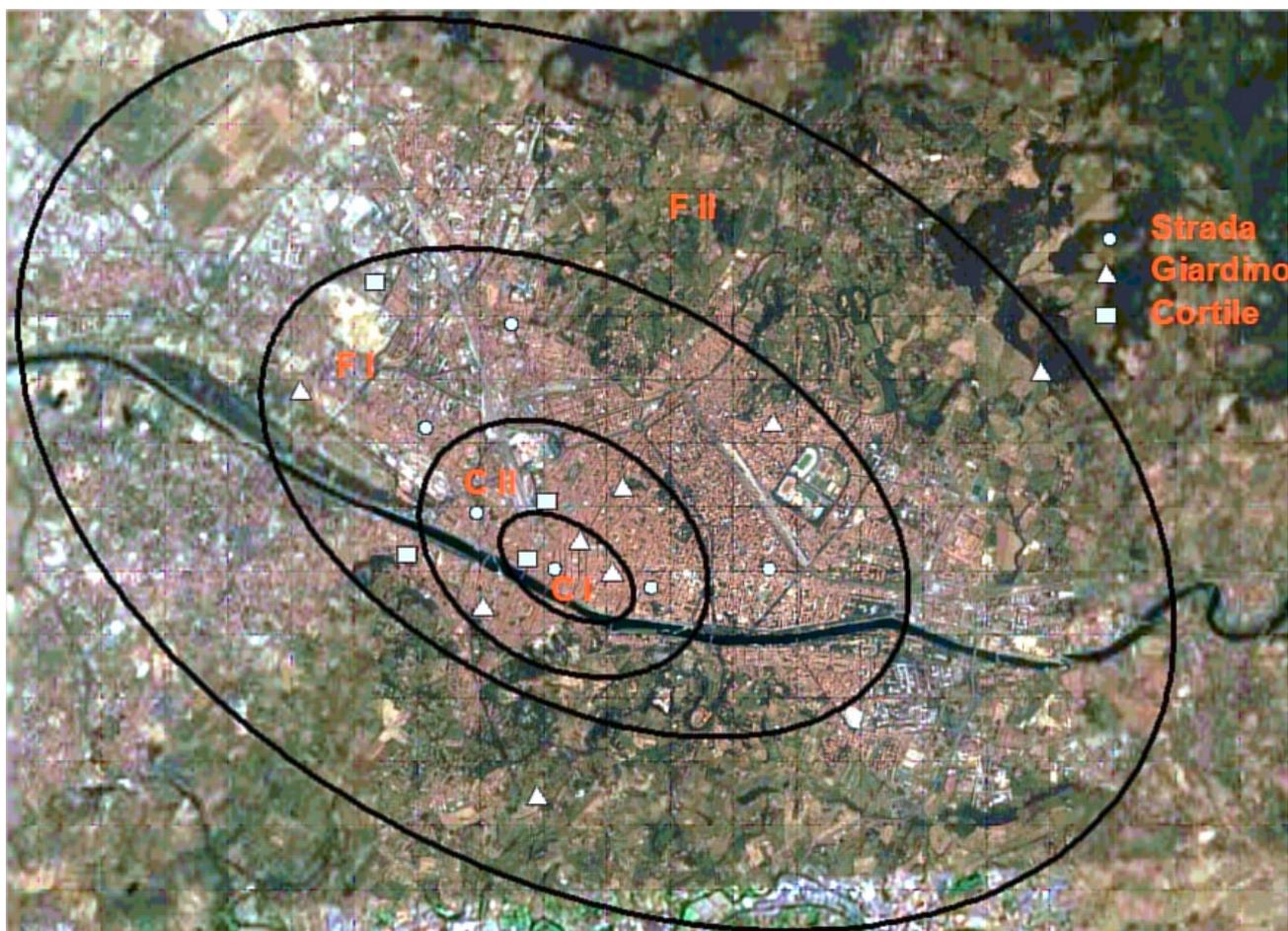


Fig. 2 – Distribuzione dei sensori di temperatura nelle fasce in cui è stata suddivisa la città

Fig. 2 – Sensors distribution within the different areas of Florence

L'analisi dei dati è stata effettuata per i dati raccolti nel mese di maggio 2005 in modo da evidenziare la risposta della città in occasione del verificarsi delle prime condizioni di caldo.

Oltre a confrontare l'andamento generale della temperatura dell'aria durante tutto il periodo, l'attenzione si è focalizzata sui confronti delle temperature nelle ore serali, tra le 18 e le 24, e nelle prime ore del mattino, tra le 4 e le 10, nei giorni caratterizzati da cielo sereno. La presenza di nuvolosità, infatti, tende ad omogeneizzare i valori di temperatura sul territorio.

L'effetto rinfrescante delle aree verdi è stato valutato anche mediante l'indice Park Cool Island (PCI), così come proposto da Spronken-Smith e Oke (1998), determinato sia per i giardini (PCI_giardino) che per i cortili (PCI_cortile) rispetto alla sede stradale:

$$PCI = T_{a_u} - T_{a_p}$$

dove

T_{a_u} = Temperatura dell'aria (°C) registrata in ambiente stradale

T_{a_p} = Temperatura dell'aria (°C) rilevata in un'area verde (cortile o giardino)

Risultati e discussione

L'analisi delle temperature medie giornaliere ha messo in evidenza una loro relazione con la distanza dal centro. In particolare, nei confronti tra stazioni poste in ambiente stradale (Fig. 3a), si nota che tra le due fasce centrali (C I e C II) la differenza della temperatura media giornaliera non è molto marcata, mentre nella fascia F I, la temperatura media giornaliera registrata nelle stazioni stradali è sempre più bassa di quella registrata nelle fasce più centrali di circa un grado centigrado. Questo significa che la temperatura dell'aria sulle strade è influenzata sia dalla vicinanza col centro città, sia dal numero e dall'altezza degli edifici. Infatti, le due fasce più centrali hanno una maggior concentrazione di edifici e sono caratterizzate dal numero maggiore di piani. Si nota, inoltre, che la temperatura media giornaliera registrata nelle stazioni stradali del C II a volte supera quella registrata in C I e questo potrebbe essere dovuto proprio al fatto che la temperatura dell'aria in ambiente stradale può essere maggiormente influenzata dalla presenza di edifici più alti, oltre che più numerosi, più che dalla distanza dal centro stesso. Molti studi hanno messo in relazione, infatti, la temperatura dell'aria con lo *Sky View Factor* (SVF) (Unger, 2004), una variabile che indica la frazione di emisfero sovrastante occupato dal cielo (Oke, 1981). Lo SVF è un numero compreso tra 0 e 1 che rappresenta rispettivamente sezioni totalmente ostruite e libere (Oke, 1988). Alcuni autori hanno rilevato una relazione significativa tra SVF e temperatura dell'aria in ambiente urbano (Yamashita *et al.*, 1986), mentre altri (Eliasson and Svensson, 2003) hanno dimostrato che sia i parametri dell'uso del suolo che lo SVF sono importanti per la variazione spaziale della

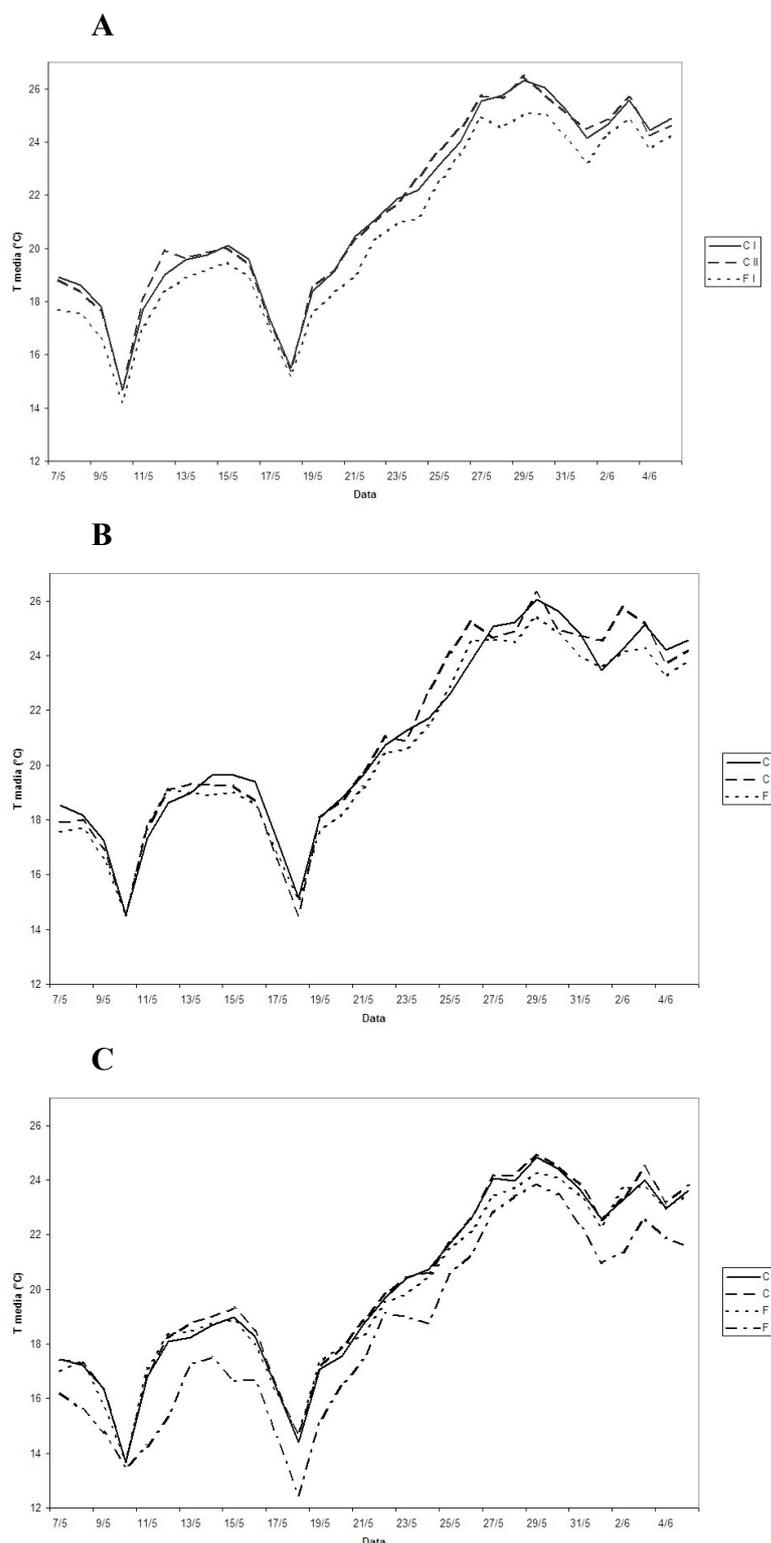


Fig. 3 – Andamento della temperatura media giornaliera registrata in stazioni poste nelle diverse fasce su strada (a), cortile (b) e giardino (c)

Fig. 3 – Mean daily air temperature trend of different areas of the city of sensors placed in street (a), courtyard (b) and garden (c)

temperatura dell'aria in ambiente urbano (Svensson, 2004).

Per quanto riguarda i confronti effettuati nei cortili (Fig. 3b) e nei giardini (Fig. 3c), l'andamento è leggermente differente rispetto a quanto osservato per le stazioni stradali. La temperatura media giornaliera registrata nelle aree verdi, infatti, tende ad essere molto simile in tutte e tre le fasce più vicine al centro. La distanza dal centro e il numero di piani ed edifici che caratterizzano le zone non sembrano, quindi, influenzare in maniera determinante la temperatura all'interno dei giardini e dei cortili nelle aree urbanizzate.

Una differenza notevole si nota analizzando la temperatura media giornaliera nei giardini (Fig. 3c) tra le tre fasce più vicine alla città e quella più esterna (F II): questa differenza, analizzabile solo nel caso dei giardini (in F II è stato possibile posizionare sensori solo in giardini) è quasi costante e del valore di circa 1 °C per tutto il periodo analizzato. La fascia F II è caratterizzata dal minor numero di edifici per km², quindi ha una maggior concentrazione di zone verdi rispetto al costruito.

Per quanto riguarda i confronti effettuati tra le stazioni appartenenti alla stessa fascia, la differenza tra i diversi tipi di ambiente è più marcata di quanto osservato in precedenza nei confronti tra lo stesso tipo di ambiente nelle diverse fasce: in ognuna delle tre fasce in cui è possibile effettuare i confronti, le temperature medie più alte sono state registrate nelle stazioni stradali (Fig. 4a), poi nei cortili (Fig. 4b) ed infine nei giardini (Fig. 4c). Le temperature medie registrate in ambiente stradale e nei cortili sono molto simili e la differenza tra i due valori è molto bassa in tutte e tre le fasce. È, inoltre, interessante notare che la differenza tra i valori registrati nelle strade e nei cortili rispetto a quella registrata nei giardini, tende a diminuire allontanandosi dal centro città, e quindi anche al diminuire della densità degli edifici per km² e del numero medio dei piani per edificio. L'alto valore del numero di edifici per km² sta ad indicare anche una bassa presenza di zone verdi: il fatto che nelle zone con un alto numero di edifici per km² la temperatura dell'aria sia più alta che altrove, conferma il ruolo fondamentale della vegetazione nella mitigazione della temperatura dell'aria nelle città (Betts, 2005). Sarà interessante valutare, con ulteriori analisi sull'argomento, se l'effetto mitigante delle aree verdi sia legato allo SVF o al miglior rapporto calore sensibile-calore latente che si ha nelle aree verdi.

Focalizzando l'attenzione sull'isola di calore urbana, sono stati analizzati i dati di temperatura registrati nei giorni caratterizzati da cielo sereno ed assenza di vento: la relazione tra temperatura dell'aria e le altre variabili che dipendono dal soprassuolo urbano risulta meno evidente in presenza di vento a causa del rimescolamento dell'aria all'interno della città (Eliasson e Svensson, 2003). Dai dati registrati nei giorni con queste caratteristiche, sono stati analizzati quelli delle zone centrali della città (C I e C II), perché tipizzati da temperature medie giornaliere maggiori rispetto alle altre zone e con una maggiore differenza tra gli

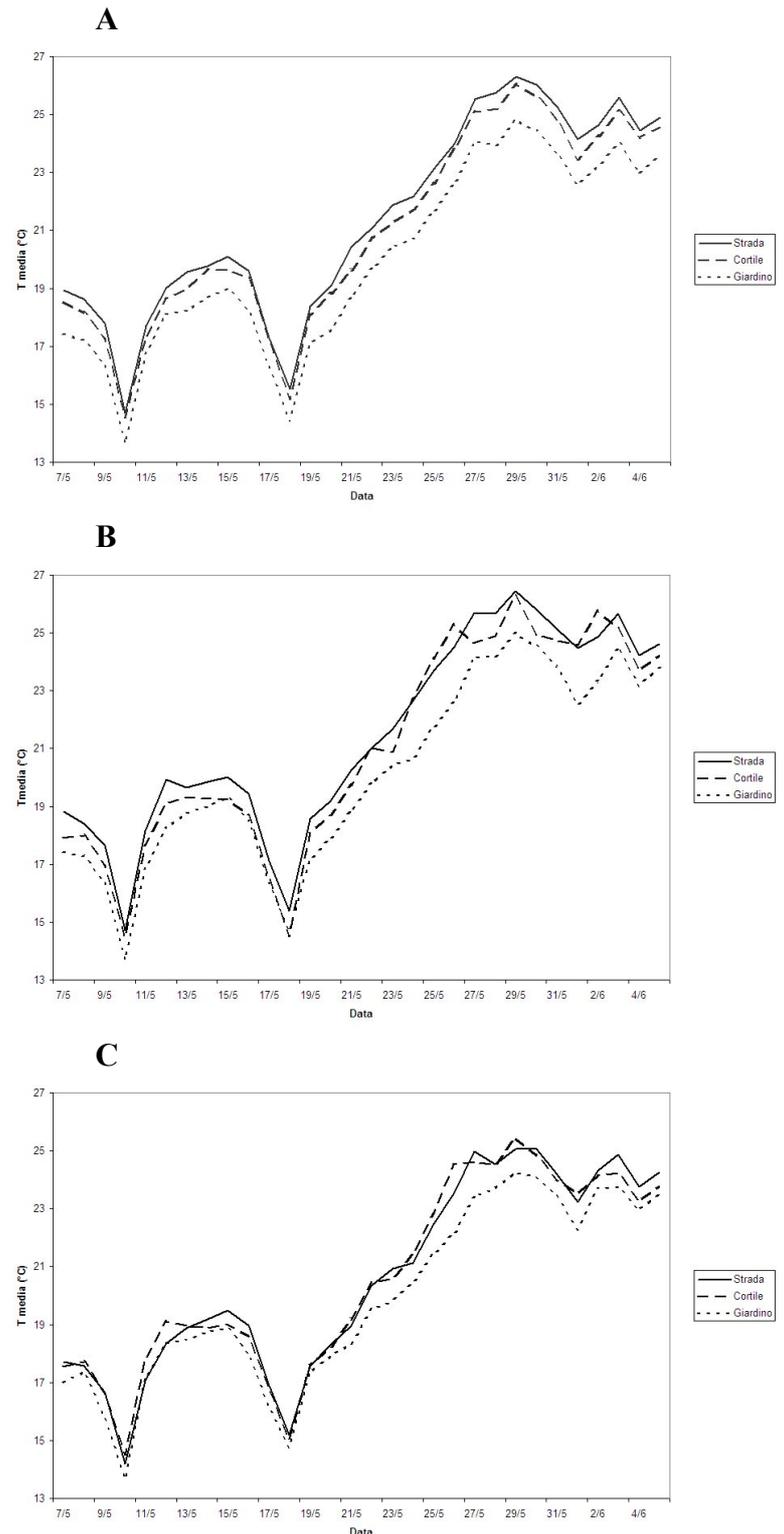


Fig. 4 – Andamento della temperatura media giornaliera in stazioni poste nei tre ambienti appartenenti alla stessa fascia (CI = a; CII = b; FI = c)

Fig. 4 – Mean daily air temperature trend of different setting (street, courtyard and garden) of the same area (CI = a; CII = b; FI = c)

ambienti (Fig. 4). In particolare, sono stati analizzati i valori medi registrati ogni 10 minuti nei giorni sereni e senza vento, nelle ore della sera (dalle 18 alle 24), che sono proprio quelle in cui si evidenzia l'isola di calore urbana a causa dell'effetto canyon" (Tsai *et al.*, 2005; Palmieri e Siani, 2000). Si nota che, col passare delle ore, la differenza di temperatura tra le stazioni poste in strada e nei giardini tende ad aumentare perché nelle aree verdi le temperature diminuiscono più velocemente: se, infatti, qualche ora prima del tramonto, la differenza tra la temperatura registrata in strada e nei giardini è di circa 1 °C, verso le 23 è di circa 2 °C. Risultati simili sono stati trovati in altri studi effettuati nelle stesse condizioni ambientali (cielo sereno e calma di vento) (Upmanis *et al.*, 1998). Le stazioni poste nei cortili hanno un andamento intermedio: nel tardo pomeriggio hanno valori simili a quelli dei giardini, mentre col passare delle ore tendono ad avvicinarsi ai valori degli ambienti stradali (Fig. 5).

È stato, inoltre, analizzato l'andamento delle temperature nei giorni sereni con assenza di vento, sempre nelle zone del centro della città, nelle prime ore del mattino (tra le 4 e le 10) (Fig. 6). Dal grafico risulta che, prima del sorgere del sole, la temperatura più bassa dell'aria si registra nei giardini, poi nei cortili e quindi nelle strade, con una differenza di circa 1.5 °C tra giardino e strada e di circa 1 °C tra giardino e cortile. La situazione cambia subito dopo il sorgere del sole: la temperatura dell'aria nelle aree verdi, infatti, tende ad aumentare molto più velocemente rispetto a quella degli ambienti stradali a causa della diversa resistenza termica dei materiali che li caratterizzano. Si arriva ad un punto in cui la temperatura nelle strade è molto vicina a quella che si ha nei giardini, anche se continua ad essere maggiore, con una differenza di soli 0.4 °C. Questo andamento conferma le teorie sul clima urbano secondo cui, nelle prime ore del mattino, in città la temperatura dell'aria aumenta più lentamente che non nelle zone rurali circostanti (Palmieri e Siani, 2000). La differenza media giornaliera che si registra tra le stazioni poste nei giardini o in strada tende, infatti, ad annullarsi qualche ora dopo l'alba, per poi tornare ad aumentare sempre di più quando anche i materiali artificiali si sono riscaldati (Fig. 6).

Un andamento particolare si ha nei cortili: qui la temperatura dell'aria ha un andamento parallelo a quello dei giardini, ma con valori più alti. Alla fine risulta che, anche se la temperatura media giornaliera nei cortili è inferiore a quella delle strade, nelle prime ore che seguono al sorgere del sole, nei cortili la temperatura dell'aria è superiore a quella nelle strade, con una differenza che, nel periodo preso in esame, ha raggiunto 1.4 °C.

Infine, sono state confrontate le differenze tra le temperature medie registrate in ambiente stradale rispetto a quelle dei cortili e dei giardini nelle diverse fasce tramite l'indice Park Cool Island (Tab. 2). Questo tipo di confronto non si è potuto effettuare nella zona F II per mancanza di dati nei tre tipi di ambiente. Da questa analisi è stato possibile notare che, allontanandosi dal centro città,

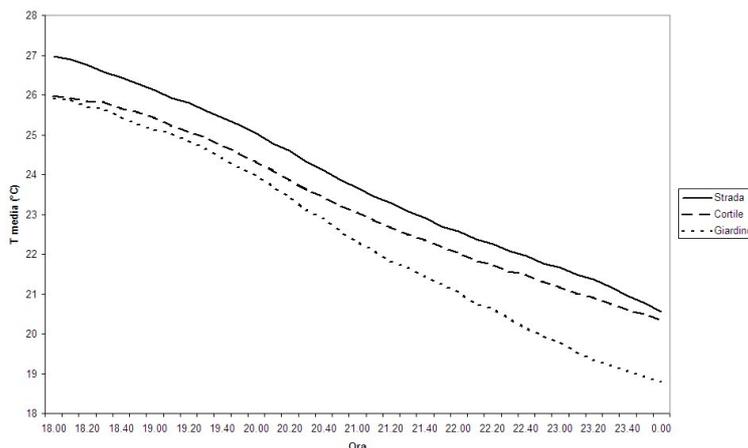


Fig. 5 – Andamento della media delle temperature registrate ogni 10 minuti in tutte le stazioni appartenenti alle fasce centrali della città (C I e C II), secondo il tipo di ambiente rappresentato (strada, cortile e giardino), durante le ore della sera (dalle 18 alle 24) nei giorni sereni senza vento

Fig. 5 – Trend of mean temperatures registred every 10 minutes in central areas of the city (C I and C II), according to the setting (street, courtyard and garden) during clear and calm nights (from 6 to 12 pm)

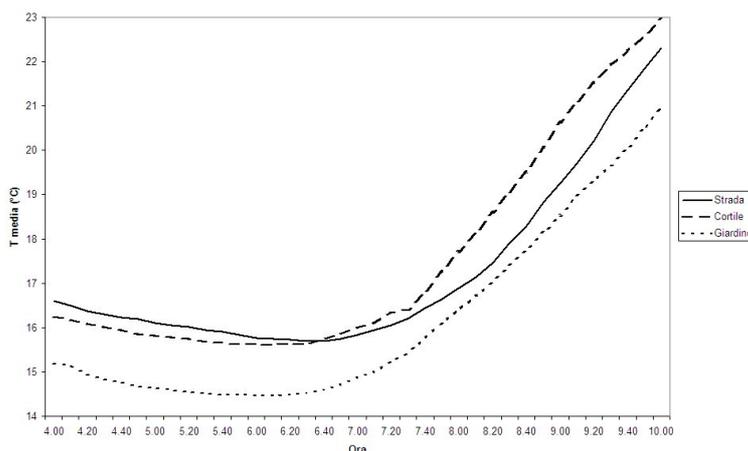


Fig. 6 – Andamento della media delle temperature registrate ogni 10 minuti in tutte le stazioni appartenenti alle fasce centrali della città (C I e C II), secondo il tipo di ambiente rappresentato (strada, cortile e giardino), durante le ore della mattina (dalle 4 alle 10) nei giorni sereni senza vento

Fig. 6 – Trend of mean temperatures registred every 10 minutes in central areas of the city (C I and C II), according to the setting (street, courtyard and garden) during clear and calm days (from 4 to 10 am)

si assiste ad una diminuzione della differenza di temperatura media sia tra strada e cortile ($PCI_{cortile}$) che tra strada e giardino ($PCI_{giardino}$). Per quanto riguarda la differenza tra strada e cortile, questa si mantiene sempre molto bassa ed inferiore a 0.5 °C: diminuisce leggermente allontanandosi dal centro e passando dalla zona C I alla zona C II, mentre diminuisce più velocemente passando dalla zona C I alla zona F I. Le differenze maggiori si riscontrano nel confronto tra temperatura media in strada ed in giardino. Come nel caso della differenza tra

Tab. 1 – Riepilogo delle caratteristiche delle aree concentriche in cui è stato suddiviso il territorio fiorentino

Tab. 1 – Summary of the concentric areas feature

Zona	PCI_cortile (°C)	PCI_giardino (°C)
C I	≤ 2.5 – 3 ≤	1.44
C II	> 1200	1.40
F I	< 2	0.76

strada e cortile, anche qui si ha una diminuzione meno marcata tra zona C I e C II, che diventa molto più alta passando dalla zona C I alla zona F I, con un valore quasi dimezzato rispetto a quello osservato in C I.

Questo significa, innanzitutto, che le aree verdi di dimensioni maggiori apportano un contributo più rilevante in termini di abbassamento della temperatura dell'aria rispetto alle aree verdi di dimensioni minori; in secondo luogo significa che per un soggetto che si trova nel centro città, passare da un ambiente stradale ad un giardino può determinare una diminuzione di temperatura che mediamente è di 1.5 °C e che quindi può comportare un passaggio da una condizione di disagio da caldo ad una di benessere termico. Da notare, inoltre, che, se nelle grandi aree verdi del centro città la differenza media di temperatura dell'aria è dell'ordine di 1.5 °C, quella massima è di circa 2 °C e si verifica nelle ore serali (Fig. 6), comportando notevoli benefici all'organismo umano nel caso in cui sia stato sottoposto durante il giorno a temperature dell'aria stressanti per l'organismo.

Conclusioni

Questo studio ha approfondito le conoscenze sul clima della città di Firenze e sull'impatto delle aree verdi sui valori di temperatura dell'aria della città. È emerso che la distribuzione della temperatura nelle città è legata alla distanza dal centro, all'altezza media degli edifici ed al numero di edifici per km². In particolare, lo studio ha evidenziato che le temperature dell'aria all'interno delle aree verdi, soprattutto quelle con una superficie rilevante e paragonabili a giardini o a parchi urbani, sono inferiori a quelle registrate in ambiente stradale o nei piccoli cortili posizionati all'interno della città. Inoltre, è stato possibile constatare che la differenza maggiore di temperatura tra ambiente stradale e giardino si ha nelle fasce cittadine più vicine al centro, quelle caratterizzate da una maggiore densità urbana e da una superiore altezza degli edifici. Di conseguenza, trascorrere le ore serali in parchi urbani potrebbe essere una buona pratica per alleviare le condizioni di disagio da caldo e quindi per diminuire i casi di rischio legati a queste condizioni avverse. I risultati di questo lavoro possono essere d'aiuto alle amministrazioni locali per promuovere interventi specifici nei lavori di pianificazione urbana per lo sviluppo delle nuove aree costruite intorno alla città, in modo che tengano in considerazione la presenza di giardini e parchi urbani per ren-

dere la vita dei cittadini migliore dal punto di vista biometeorologico.

Ringraziamenti

Si ringrazia la DG Diritto alla Salute e Politiche di Solidarietà – Settore Tecnologie, Innovazione e Ricerca in Sanità – Regione Toscana – Progetto “MeteoSalute” che ha permesso la realizzazione dell'attività di ricerca, e l'Ufficio di Statistica del Comune di Firenze per aver fornito i dati dell'ultimo censimento edifici riferiti alle zone di interesse.

Bibliografia

- Arnfield, A.J., Herbert, J.M. and Johnson, G.T., 1999. *Urban Canyon Heat Source and Sink Strength Variations: A simulation-based sensitivity study*. Atti del “Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climate – WMO”, Sydney, 8-12 Nov.
- Betts KS, 2005. *Choosing the right trees to improve urban air*. *Environmental science & technology*. Sep 1;39(17):356A-357A
- Böhm R. 1998. *Urban bias in temperature time series – A case study for the city of Vienna, Austria*. *Climatic Change* 38: 113-128
- Eliasson I. e Svensson M. K., 2003. *Spatial air temperature variation and urban land use: a statistical approach*. *Meteorol. Appl.* 10: 135-149
- Faunt J.D., Wilkinson T.J., Aplin P., Henschke P., Webb M., Penhal R.K., 1995. *The effect in the heat: heat-related hospital presentations during a ten-day heat wave*. *Australian and New Zealand Journal of Medicine* 25: 117-121.
- Hasanean HM. 2001. *Fluctuation of surface air temperature in the Eastern Mediterranean*. *Theoretical and Applied Climatology* 68: 75-87
- Kalkstein LS, Davis RE. 1989. *Weather and human mortality: An evaluation of demographic and interregional responses in the United States*. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.* 79: 44-64
- Kilbourne EM. 1997. *Heat waves and hot environments*. In: *The Public Health Consequences of Disaster* [Noji EK (ed)]. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom and New York, NY, USA, 51-61
- Landsberg HE. 1981. *The Urban Climate*. Academic Press: New York
- Mariani L. e Sovrano Sangallo, G., 2005. *Approccio quantitativo all'analisi degli effetti urbani sul clima*. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 31-36 (2)
- Morabito M., 2004 – *tesi di dottorato-senti se ha pubblicato per la grandezza dei giardini*
- Nakamatsu R, Tsutsumi JG, Arakawa R. 2003. *Relations of energy consumption and local climate in a subtropical region*. *Atti del Fifth International Conference on Urban Climate, IAUC and WMO, Lodz, Poland, 1-5 September*
- Oke TR. 1973. *City size and the Urban Heat Island*. *Atmospheric Environment* 7: 769-779
- Oke TR. 1981. *Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations*. *J. Climatol* 1: 237-254
- Oke T.R., 1982 - *The energetics basis of urban heat island*. *Quart.J.Roy.Meteorol.Soc.*, 108, 1-24
- Oke T.R., 1988- *Street design and urban canopy layer climate*. *Energy Buildings* 11:103-113
- Palmieri S. e Siani A. M., 2000. *Clima Urbano*. In: Hruska K., *Ecologia Urbana*. CUEN, Napoli, 35-62.
- Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley J.A., 2005 – *Impact of regional climate change on human health*. *Nature*, Nov 17;438(7066):310-7
- Quattochi DA, Luvall JC, Rickman DL, Estes MG, Laymon CA, Howell BF. 2000. *A decision support information system for urban landscape management using thermal infrared data*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66: 1195-1207
- Richards DA., 1995. *Deaths in a heat wave*. *Australian/New Zealand Journal of Medicine* 25: 109-110.
- Rooney C., McMichael A.J., Kovats R.S., Coleman M., 1998. *Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heat wave*. *Journal of Epidemiology and Community Health* 52: 482-486

- Roth M, Oke TR, Emery WJ. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing* 10: 1699-1720
- Rozbicki T, Golaszewski D. 2003. Analysis of local climate changes in Ursynów in the period 1960–1991 as a result of housing estate development. In: *Preprints Fifth International Conference on Urban Climate, IAUC and WMO, Lodz, Poland, 1-5 September*
- Santamouris M., 2001. The Canyon Effect, in M. Santamouris (ed.), *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, James & James, London
- Santamouris M., Papanikolaou N., Livada I., Koronakis I., Georgakis C., Argiriou A., Assimakopoulos D.N., 2001. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy* 70: 201-216
- Sartor F., Snacken R., Demuth C., Walckiers D., 1995. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994 in Belgium. *Environmental Research* 70: 105-113.
- Shashua-Bar L. and Hoffman M. E. 2002. The Green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites. *Building and Environment*, 37, 1279-1288
- Shashua-Bar L. and Hoffman M. E. 2003. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings*, 35, 61-68
- Smoyer-Tomic K.E., Kuhn R., Hudson A., 2003. Heat wave hazard: An overview of heat wave impacts in Canada. *Natural Hazard* 28:463-485.
- Spronken-Smith R.A. e Oke T.R., 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climate. *Int. J. Rem. Sens.*, 19 (11), 2085-2104.
- Svensson M.K., 2004. Sky view factor analysis –implications for urban air temperature differences. *Meteorol. Appl.* 11, 201-211
- Taha H., 1997. Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat. *Energy & Buildings - Special Issue on Urban Heat Islands, Volume 25, N° 2*, pp. 99-103
- Tereshchenko IE, Filonov AE. 2001. Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology* 21: 483-494
- Tsai M.Y., Chen K.S., Wu C.H., 2005. Three-dimensional modeling of air flow and pollutant dispersion in an urban street canyon with thermal effects. *J Air Waste Manag Assoc.*, Aug; 55(8):1178-89
- Unger J., 2004. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. *Climate Research*, vol 27: 253-264
- Upmanis H., Eliasson I. and Lindqvist S., 1998. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18, 681-700
- Yamashita S., Sekine K., Shoda M., Yamashita K. e Hara Y. 1986. On relationship between heat island and sky view factor in the cities of Tama river basin, Japan. *Atmos. Environ.* 20: 681-686