

Adriano Magliocco, Dipartimento di Scienze per l'Architettura (DSA), Università degli Studi di Genova
Katia Perini, Dipartimento di Scienze per l'Architettura (DSA), Università degli Studi di Genova

magliocc@arch.unige.it
kperini@arch.unige.it

Abstract. L'articolo ha come oggetto l'analisi degli esiti di una sperimentazione sulla simulazione degli effetti microclimatici, in particolare di comfort ambientale, della vegetazione in contesto urbano, condotta con l'ausilio del modello microclimatico tridimensionale ENVI_met. La simulazione considera un numero ampio di casi ipotetici di tessuto edilizio, caratterizzati da alcune specifiche variabili: densità del costruito, altezza degli edifici, diversa presenza di vegetazione (coperture verdi e spazi verdi al suolo). I risultati costituiscono informazioni utili per ipotizzare l'influenza di diverse combinazioni di quantità di vegetazione, densità edilizia e altezza degli edifici sul fenomeno isola di calore in clima mediterraneo.

Parole chiave: Vegetazione, Fenomeno isola di calore, Comfort termico, Coperture verdi, Ambiente urbano

Introduzione

Le città europee hanno un tessuto edilizio denso e sono caratterizzate da alti tassi di inquinamento atmosferico; questo è uno dei problemi più importanti che dobbiamo affrontare oggi (Legambiente, 2011). David Owen (2009) ha dimostrato che chi vive in città consuma meno energia rispetto a chi vive nelle periferie o nelle aree rurali, pertanto ridurre gli effetti negativi sull'ambiente connessi alla salute dell'uomo e alla qualità della vita è fondamentale al fine di perseguire gli obiettivi dello sviluppo sostenibile.

All'interno delle aree urbane, evapotraspirazione e ombreggiamento delle piante possono ridurre, in maniera significativa, il calore che verrebbe re-irradiato dalle facciate degli edifici e da tutte le altre superfici "dure" dotate di massa (Bellomo, 2003; Perini et al., 2011; Scudo e Ochoa De La Torre, 2003; Shashua-Bar e Hoffman, 2002). Oltre alle aree verdi al suolo anche le coperture inverdite possono avere un ruolo importante, potendo rappresentare sino al 32% delle superfici orizzontali delle aree edificate (Frazer, 2005).

Urban environment and vegetation: comfort and urban heat island mitigation

Abstract. This paper analyses the outcomes of an experimental simulation on the microclimatic effects and on thermal comfort of vegetation in urban environment, conducted by means of a three-dimensional microclimate model, ENVI-met 3.1. The simulation considers a wide range of hypothetical cases of typical city areas with different characteristics related to: building density, building height, vegetation type and density. The results of the study show how different combinations of amount and type of vegetation, density and height of buildings affect the urban heat island phenomenon in Mediterranean climate.

Keywords: Vegetation, Urban heat island, Thermal comfort, Green roofs, Urban environment

Gli effetti della vegetazione sul microclima e sul comfort ambientale possono essere valutati utilizzando modellazioni ambientali, con il fine di capire meglio le relazioni tra variabili determinanti problemi ambientali; in questo caso si tratta di quantificare gli effetti dovuti a differenze di utilizzo del suolo su fattori microclimatici e di conseguenza gli effetti sulla qualità della vita (Nardino e Georgiadis, 2011). Alti livelli di inquinanti in atmosfera insieme alla cementificazione delle aree urbane, effetto collaterale delle attività umane, e una prevalenza di aree asfaltate (con bassi valori di albedo), rispetto alle aree vegetate, causano il fenomeno dell'isola di calore: le differenze di temperatura tra città e aree suburbane e rurali è determinato da questo fenomeno (2-5 °C; Taha, 1997; Petralli et al., 2006).

L'obiettivo della ricerca qui presentata è l'analisi quantitativa relativa alla definizione dell'influenza di diverse variabili sul comfort termico nelle aree aperte in una tipica area urbana, potenzialmente concuse dall'effetto isola di calore. Viene quindi quantificato il ruolo della vegetazione al suolo e delle coperture verdi nel mitigare le temperature estive e nel migliorare le condizioni di comfort. Lo strumento di simulazione ENVI-met è stato usato per prevedere i cambiamenti nei valori dei parametri microclimatici in ambiente urbano.

Per analizzare gli effetti della densità edilizia, sono state ipotizzate diverse configurazioni e per valutare l'effetto canyon sono state testate diverse altezze degli edifici. Sono state inoltre considerate tre località (per latitudine), Milano, Genova e Roma, in un giorno estivo medio, al fine di quantificare gli effetti di diverse condizioni atmosferiche nel clima mediterraneo.

Introduction

European cities tend to be densely built and have become to be highly polluted; this is an environmental topic which is important to address (Legambiente, 2011). David Owen (2009) states that people living in cities consume less energy compared to people living in suburbs or rural areas, therefore reducing the negative effects of environmental issues for human health and quality of life to pursue sustainable development is mandatory.

Within urban areas, the impact of evapotranspiration and shading of plants can significantly reduce the amount of heat that would be re-radiated by façades and other hard surfaces (Bellomo, 2003; Perini et al., 2011, Scudo and Ochoa De La Torre, 2003; Shashua-Bar and Hoffman, 2002). In addition to green areas on the ground,

also green roofs can have an important role, as they can represent up to 32% of the horizontal surface of built-up areas (Frazer, 2005).

The effects of vegetation on microclimate and comfort can be evaluated by using environmental modelling to quantify the effects due to zone changes (land coverage) on meteorological parameter and on quality of life consequences (Nardino and Georgiadis, 2011). High levels of pollution in the atmosphere along with "cementification" of urban areas, side-effects of human activities, and the excess of asphalted areas (low albedo) in comparison to green areas cause the urban heat island phenomenon: temperature difference between cities and suburban or rural areas is determined by this phenomenon (2-5°C; Taha, 1997; Petralli et al., 2006).

The aim of the study presented is to

Metodologia

Al fine di prevedere i cambiamenti microclimatici in ambiente urbano, è stato usato lo strumento di simulazione ENVI-met Versione 3.1 BETA V. Sono state simulate molte combinazioni diverse di valori dei parametri considerati. Queste variano in funzione del sito, (Milano, Roma, Genova), cioè delle condizioni climatiche, della densità e dell'altezza degli edifici, del tipo e quantità di vegetazione. Per ogni località considerata, sono stati raccolti ed utilizzati dati climatici registrati nel centro delle tre città durante i mesi di giugno, luglio e agosto negli ultimi tre anni¹. Per considerare le variabili relative alle condizioni atmosferiche, sono stati usati 16.000 dati, elaborati attraverso una analisi statistica al fine di considerare la significatività degli stessi².

Non sono stati considerati, in questa sede, siti specifici, ma sono stati utilizzati i dati climatici delle tre diverse città. Le aree urbane, di 400x400m sono state "progettate" avendo come riferimento le caratteristiche frequenti nei quartieri realizzati nell'ultimo secolo nelle città europee, con edifici con l'asse principale orientato lungo la direzione nord-sud. L'obiettivo

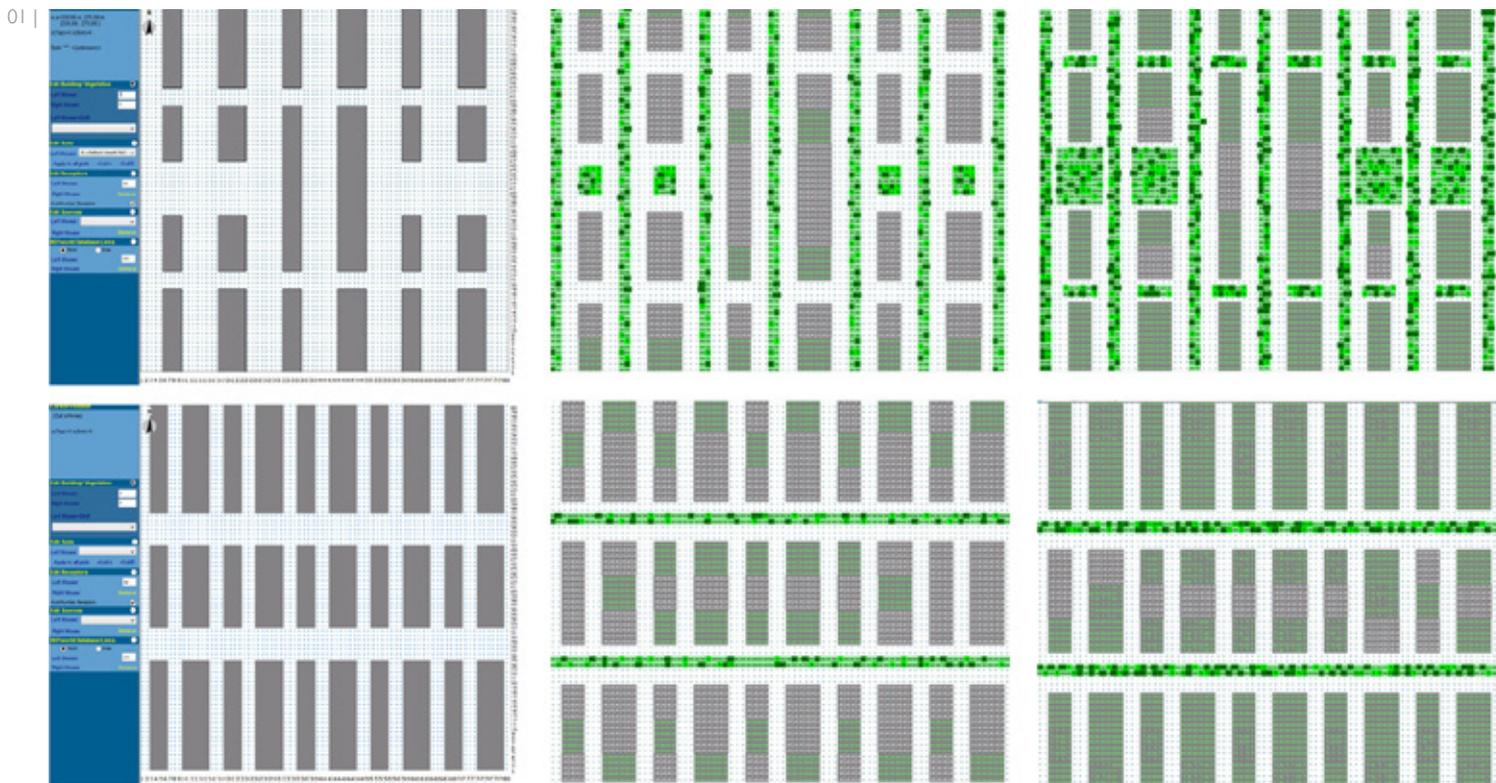
è infatti comprendere l'influenza dei diversi parametri sul comfort outdoor e non analizzare specifici quartieri, ipotizzando differenti configurazioni (Tab. 1). La vegetazione al suolo è ipotizzata come un mix di alberi con diverse altezze, densità, siepi e erba. "Vegetazione A" e "vegetazione B" differiscono in relazione alla densità (1 o 2), legata alla disponibilità di spazio al suolo (nel caso di "densità 2" sono però stati ipotizzati tetti verdi in maggiore estensione. In funzione di queste variabili sono state quindi utilizzate 36 differenti configurazioni (Fig. 1). Come è possibile vedere nella figura 1, la vegetazione e tutti gli altri elementi della modellazione (es. gli edifici) sono rappresentati collocando per ogni cella della griglia un diverso trattamento del suolo o una diversa massa edilizia. Ogni cella costituita da vegetazione ha specifiche caratteristiche. Tutte le simulazioni hanno come ora di partenza le ore 10:00 e si sviluppano nelle successive 4 ore; tutti gli output sono riferiti alle ore 13:00.

Per quantificare gli effetti delle molte variabili descritte sulla temperatura dell'aria, è stata considerata la temperatura potenziale (temperatura alla pressione standard p0-1000mbar) a 1,6 m

TAB. 1 |

BUILT AREA SURFACE: 400X400 METERS (160.000 M ²)		
Orientation of buildings: east-western axis (north top).		
No green	Green A	Green B
DENSITY 1 - HEIGHT A		
Buildings cover 30% of the total surface (48.000 m ²). 32 buildings 30x20 meters; 32 buildings 30x30 meters. 4 floors buildings, 14 meters height		
	16 green roofs (12.000 m ²). 11 green areas on the ground (30.000 m ²)	56 green roofs (42.000 m ²). 23 green areas on the ground (37.900 m ²)
DENSITY 2 - HEIGHT A		
Buildings cover 50% of the total surface (80.000 m ²). 55 buildings 30x20 meters; 53 buildings 30x30 meters. 4 floors buildings, 14 meters height		
	32 green roofs (24.000 m ²). 2 green areas on the ground (8.000 m ²)	96 green roofs (72.000 m ²). 2 green areas on the ground (8.000 m ²)
DENSITY 1 - HEIGHT B		
Buildings cover 30% of the total surface (48.000 m ²). 32 buildings 30x20 meters; 32 buildings 30x30 meters. 7 floors buildings, 24 meters height		
	16 green roofs (12.000 m ²). 11 green areas on the ground (30.000 m ²)	56 green roofs (42.000 m ²). 23 green areas on the ground (37.900 m ²)
DENSITY 2 - HEIGHT B		
Buildings cover 50% of the total surface (80.000 m ²). 55 buildings 30x20 meters; 53 buildings 30x30 meters. 7 floors buildings, 24 meters height		
	32 green roofs (24.000 m ²). 2 green areas on the ground (8.000 m ²)	96 green roofs (72.000 m ²). 2 green areas on the ground (8.000 m ²)

TAB. 1 | Configurazioni simulate con ENVI-met 3.1
Configurations simulated with ENVI-met 3.1



01 | Finestra di lavoro di ENVI-met, isolati tipo con densità 1-2, senza verde, con inverdimento A e B (con verde al suolo e coperture verdi)
 ENVI-met model, typical city areas, density 1 and 2, no green, green A, green B (green areas and green roofs)

di altezza. Gli effetti di riduzione della radiazione al suolo sono stati quantificati considerando le temperature medie radianti a livello del terreno. Infine, per valutare il comfort termico è stato considerato il Voto Medio Previsto, indicatore di comfort definito da Fanger (1970), (PMV) a 1,6 m di altezza dal suolo³.

quantitatively investigate the influence of several variables, which co-cause the Urban Heat Island effect, on temperature distribution (potential temperature and mean radiant temperature) and on outdoor thermal comfort (PMV) in a typical city area. The role played by vegetation on the ground – green areas with grass, trees, shrubs – and green roofs in mitigating summer temperatures and in improving comfort will be quantified. A simulation tool, ENVI-met Version 3.1 BETA V, is used to forecast the microclimatic changes within urban environment. To investigate the effects of building density, different configurations are simulated, as well as different building heights to evaluate the role of canyon effect. Three different locations (latitudes), Milan, Genoa, and Rome (Italy), for a typical summer day are analysed with the aim to quantify the

effects of different atmospheric conditions in Mediterranean climate.

Methodology

With the aim to forecast the microclimatic changes within urban environment, a simulation tool, ENVI-met Version 3.1 BETA V, was used. Several configurations were simulated. These vary depending on location, Milan, Rome and Genoa, climatic conditions, building density and height, vegetation type and quantity. For each city enumerated climatic data recorded within the city centre during the months of June, July, and August in the last three years have been collected¹. For each variable related to the atmospheric conditions about 16.000 data have been used, elaborated by means of a statistical analysis to evaluate the significance of the data². Typical city areas of 400x400 meters

Risultati e discussione

Si riportano considerazioni generali su tutti i casi analizzati e più in dettaglio un'analisi nell'area urbana ove si sono riscontrati i valori più alti degli indicatori citati (Tab.1). I risultati delle simulazioni nel caso “nessuna vegetazione” mostrano che la densità e l'altezza degli edifici influenzano la distribuzione dei valori di temperatura potenziale. Maggiore densità genera temperature potenziali più alte a parità di altezza degli edifici.

Si riportano considerazioni generali su tutti i casi analizzati e più in dettaglio un'analisi nell'area urbana ove si sono riscontrati i valori più alti degli indicatori citati (Tab.1). I risultati delle simulazioni nel caso “nessuna vegetazione” mostrano che la densità e l'altezza degli edifici influenzano la distribuzione dei valori di temperatura potenziale. Maggiore densità genera temperature potenziali più alte a parità di altezza degli edifici.

carried out start at 10:00 A.M. and run for 4 hours. For each of the 36 simulations the output regards the potential temperature, the mean radiant temperature, the Predicted Mean Vote³ – data are taken at 1.6 meters height from the ground level.

To quantify the effects of the several variables described above on air temperatures, the potential temperature (temperature at a standard pressure p_0 - 1000 mbar) at 1.6 meters height is used. The radiative cooling effects are quantified considering the mean radiant temperatures simulated at the ground level. Finally, with the aim to evaluate the thermal comfort at street level, Predicted Mean Vote³ – a comfort index defined by Fanger (1970) – data are taken at 1.6 meters height from the ground level.

Ma anche l'altezza degli edifici gioca un ruolo importante: grazie all'effetto di ombreggiamento a livello strada alle ore 13:00, la tendenza è osservabile per tutte le località analizzate nella ricerca, a parità di densità l'altezza maggiore riduce le temperature e tale riduzione aumenta se diminuiamo la densità (Tab. 2).

Considerando gli effetti della vegetazione nel mitigare le temperature potenziali, è possibile notare una differenza in funzione della quantità di aree verdi, del tipo di vegetazione, condizioni atmosferiche, località, densità edilizia e altezza. L'effetto positivo nella riduzione delle temperature in funzione della maggiore quantità di vegetazione è evidente in tutti i casi analizzati anche nelle

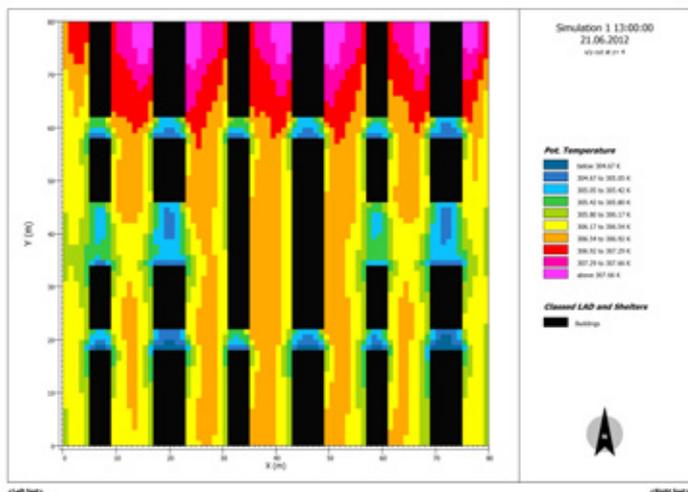
vicinanze delle aree verdi, soprattutto per le configurazioni con "densità 1" e "altezza B", sino a 1,65 °C di differenza tra le variabili "nessuna vegetazione" e "vegetazione B" per la città di Roma. La vegetazione è meno efficace nel caso "densità 2" e "altezza A", a causa del tipo di vegetazione diverso che è stato ipotizzato per il caso di edifici con "densità 1" e "densità 2" (le coperture verdi non risultano efficaci se misuriamo le temperatura a 1,6 m dal suolo). La vegetazione riduce le temperature medie radianti al di sotto del fogliame e nelle immediate vicinanze (le strade adiacenti alle aree verdi, Tab.2), con prestazioni diverse in funzione della quantità di aree verdi, del tipo di vegetazione, condizioni atmo-

TAB. 2 |

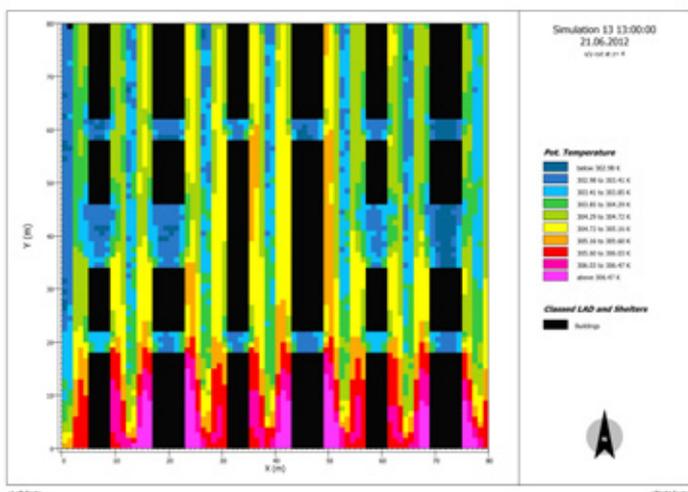
		D. 1 - H.A - no green	D. 1 - H.A - greenA	Δ no green- green A	D. 1 - H.A - green B	Δ no green- green B	D. 1 - H. B - no green	D. 1 - H. B - green A	Δ no green- green A	D. 1 - H. B - green B	Δ no green- green B
MILAN	Tpot (C°)	34,51	34,06	0,45	33,32	1,19	33,63	33,01	0,62	32,11	1,52
	Tmrad (C°)	68,19	67,47	0,72	66,98	1,21	68,03	67,61	0,42	67,04	0,99
	PMV	5,22	5,09	0,13	4,88	0,34	4,91	4,72	0,19	4,44	0,47
GENOA	Tpot (C°)	37,27	36,8	0,47	35,93	1,34	35,38	34,85	0,53	33,84	1,54
	Tmrad (C°)	68,11	67,87	0,24	67,17	0,94	68,03	67,71	0,32	67,34	0,69
	PMV	5,63	5,5	0,13	5,52	0,11	5,23	5,04	0,19	4,78	0,45
ROME	Tpot (C°)	36,92	36,45	0,47	35,64	1,28	35,61	34,77	0,84	33,96	1,65
	Tmrad (C°)	68,5	68,16	0,34	67,63	0,87	68	67,95	0,05	67,5	0,5
	PMV	5,66	5,52	0,14	5,22	0,44	5,48	5,32	0,16	5,04	0,44
		D. 2 - H.A - no green	D. 2 - H.A - greenA	Δ no green- green A	D. 2 - H.A - green B	Δ no green- green B	D. 2 - H. B - no green	D. 2 - H. B - green A	Δ no green- green A	D. 2 - H. B - green B	Δ no green- green B
MILAN	Tpot (C°)	35,46	35,33	0,13	35,17	0,29	31,78	31,44	0,34	30,68	1,1
	Tmrad (C°)	68,09	67,9	0,19	67,65	0,44	66,8	67,05	-0,25	66,46	0,34
	PMV	5,26	5,2	0,06	5,09	0,17	4,14	4,07	0,07	3,81	0,33
GENOA	Tpot (C°)	38,9	38,56	0,34	38,75	0,15	32,89	32,49	0,4	31,22	1,67
	Tmrad (C°)	68,48	68,26	0,22	67,98	0,5	66,58	66,73	-0,15	65,19	1,39
	PMV	5,91	5,82	0,09	5,82	0,09	4,41	4,28	0,13	3,87	0,54
ROME	Tpot (C°)	38,06	37,77	0,29	37,67	0,39	34,1	33,81	0,29	33,42	0,68
	Tmrad (C°)	68,66	68,41	0,25	68,01	0,65	67,37	67,08	0,29	66,83	0,54
	PMV	5,91	5,81	0,1	5,62	0,29	4,9	4,83	0,07	4,7	0,2

TAB. 2 | I valori più alti calcolati nell'area urbana considerata alle ore 13:00. Temperature potenziale e PMV a 1,6m dal suolo e temperatura media radiante (D=densità, H=altezza edifici) Highest values reached in the whole city area analysed at 1:00 PM. Pot. temperature and PMV at 1.6 meters high and mean radiant temperature (D=density, H=height of buildings).

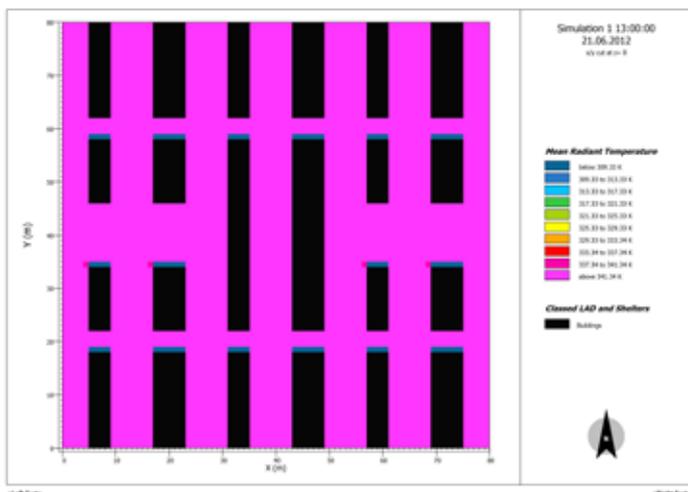
02 |



03 |



04 |



sferiche, località, densità edilizia e altezza. Si riscontrano, infatti, piccole riduzioni (massimo 1,39 °C nel caso “densità 2” – “altezza B” – “verde B”, Genova) anche in corrispondenza delle aree asfaltate circostanti.

I risultati della simulazione alle ore 13:00 per il caso “nessuna vegetazione” mostrano che il PMV al livello delle strade segnala condizioni di discomfort (caldo) con i valori più alti in un intervallo di 4,14-5,91 °C. Con edifici più alti il PMV raggiunto è più basso rispetto al caso “altezza A”, e, nel caso di “densità 2”, la differenza tra “altezza A” e “altezza B” è più evidente.

Anche osservando i valori del PMV si nota che la presenza del verde migliora leggermente le condizioni di comfort in tutta l’area (riduzione dei valori massimi di PMV 0,47 con “vegetazione B” nel caso “densità 1” e “altezza B”, per la città di Milano).

Di seguito si commentano i risultati delle simulazioni relative al caso con densità 1, altezza A per la città di Milano, situazione non inverdita e verde B. Osservando contemporaneamente le figure 2-3, che rappresentano la distribuzione delle temperature potenziali alle ore 13 ad un’altezza di 1,6 metri, si notano rilevanti differenze fra la situazione non inverdita e quella con l’inserimento della vegetazione. In corrispondenza delle aree verdi le temperature sono intorno a 302,98-303,41 Kelvin (29,83-30,26 °C), con una differenza di 3,5 °C rispetto alla situazione non inverdita.

Per quanto concerne la temperatura media radiante al suolo ($z=0$), i valori sono uniformi, 341,34 Kelvin (68,19 °C), su tutta la superficie asfaltata, fatta eccezione per le zone ombreggiate dagli edifici (Fig. 4). Per la situazione inverdita le temperature sono inferiori fino a 32,84 °C in corrispondenza delle aree vegetate (Fig. 5).

02 | Sezione orizzontale a 1,6 metri.

Temperatura potenziale, situazione non inverdita, densità 1, altezza A, ore 13, giornata estiva media, Milano
Horizontal section at 1.6 meters.
Potential temperature, no green, density 1, height A at 1 PM, typical summer day, Milan

03 | Sezione orizzontale a 1,6 metri.

Temperatura potenziale, verde B, densità 1, altezza A, ore 13, giornata estiva media, Milano
Horizontal section at 1.6 meters.
Potential temperature, green B, density 1, height A at 1 PM, typical summer day, Milan

04 | Sezione orizzontale a 0 metri.

Temperatura media radiante, situazione non inverdita, densità 1, altezza A, ore 13, giornata estiva media, Milano
Horizontal section at 1.6 meters. Mean radiant temperature, no green, density 1, height A at 1 PM, typical summer day, Milan

Results and discussion

An overview on the results of all the cases analysed will be provided (Tab. 2) and afterwards the specific analysis of an urban area will be discussed.

The output of the simulations in the case of “no green” shows that density and height of buildings influence the potential temperature distribution. Higher density causes higher potential temperatures with the same building height. Also the height of buildings plays an important role: with taller buildings temperatures are lower; this can be due to the shading effect of buildings at street level at 1:00 P.M. The same trend was found for all the locations analysed in this study (Tab. 2).

Considering the effects of vegetation in mitigating potential temperatures, a difference can be noticed depending on the amount of green areas, veg-

Infine, per quanto riguarda il PMV si nota un miglioramento delle condizioni grazie alla presenza della vegetazione, con valori, in corrispondenza delle aree verdi, da 2,12 a 4,19 (Figg. 6-7).

Conclusioni

Essendo lo scopo di questo studio l'analisi quantitativa dell'influenza delle diverse variabili sulla distribuzione dei valori di temperatura (temperatura potenziale e temperatura media radiante) e sul comfort termico negli spazi aperti in area urbana, concausa dell'effetto isola di calore, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- la densità e l'altezza degli edifici in area urbana influenzano la distribuzione dei valori della temperatura potenziale, della temperatura media radiante e del PMV. Si può notare, dai casi esaminati, che maggiori densità causano temperature potenziali più alte. L'altezza degli edifici gioca un ruolo importante nel determinare le temperature potenziali e il PMV a 1,6m dal suolo: con edifici più alti le temperature sono più basse a causa dell'effetto di ombreggiamento.

- Com'era prevedibile, i dati riportati dimostrano che le aree verdi al suolo sono decisamente più efficaci rispetto alle coperture verdi per mitigare le temperature e migliorare le condizioni di comfort al suolo.

- Diverse condizioni atmosferiche in diverse località influenzano gli effetti della vegetazione nel mitigare le temperature estive e il comfort, sebbene con differenze irrilevanti in molti dei casi analizzati.

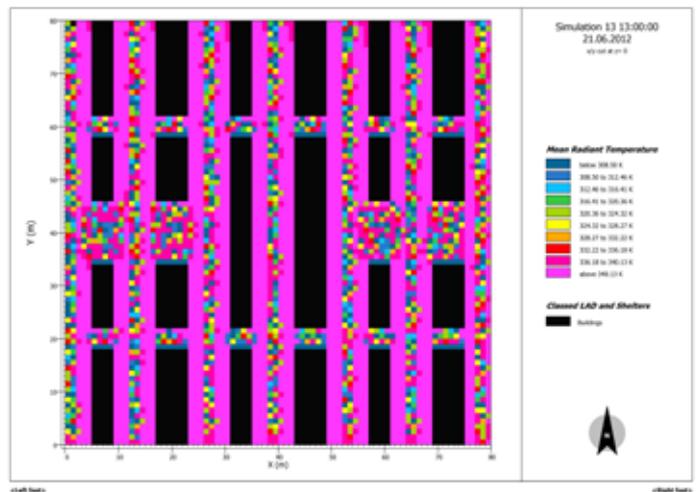
- All'interno delle aree verdi al suolo e sotto il fogliame le temperature potenziali, le temperature medie radianti e il PMV

etation type (green roofs, green areas with trees, shrubs, and grass), atmospheric conditions, locations, building density, and height.

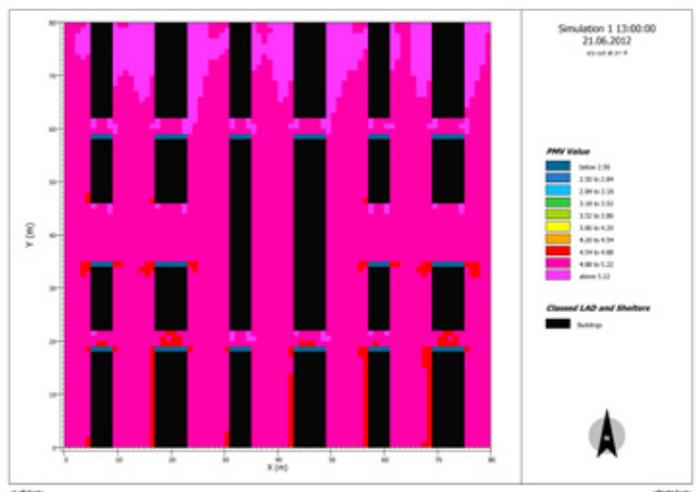
A positive effect in temperature reduction due to vegetation can be noticed in the whole city area analysed for all the cases and especially for building "density 1" and "height B", by up to 1.65 °C difference between "no green" and "green B" for the case of Rome. Vegetation is less effective in case of "density 2" and "height A", this happens because the vegetation type assumed for the simulations is different between building "density 1" and "density 2" (green roofs are not very effective at 1.6 meters high from the ground).

Green areas have a radiative cooling effect as vegetation mitigates mean radiant temperatures behind the foliage and also in the surrounding

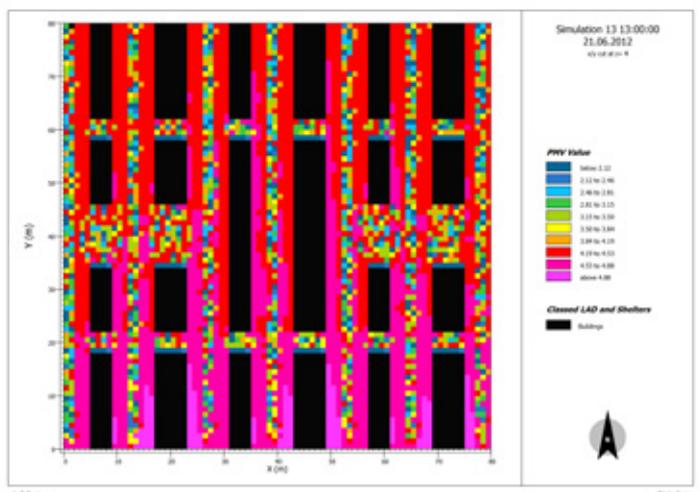
- 05 | Sezione orizzontale a 0 metri. Temperatura media radiante, verde B, ore 13, giornata estiva media, Milano
Horizontal section at 1.6 meters. Mean radiant temperature, green B, density 1, height A at 1 PM., typical summer day, Milan
- 06 | Sezione orizzontale a 1,6 metri. PMV situazione non inverditata, densità 1, altezza A, ore 13, giornata estiva media, Milano
Horizontal section at 1.6 meters. PMV, no green, density 1, height A at 1 PM., typical summer day, Milan
- 07 | Sezione orizzontale a 1,6 metri. PMV verde B, densità 1, altezza A, ore 13, giornata estiva media, Milano
Horizontal section at 1.6 meters. PMV, green B, density 1, height A at 1 PM., typical summer day, Milan



05 |



06 |



07 |

sono molto più bassi rispetto alle più alte temperature registrate nell'area urbana analizzata (ΔT_{pot} circa 3.5 °C; ΔT_{rad} circa 20 °C; ΔPMV circa 2°C); in ogni caso la vegetazione può ridurre le temperature estive, che significa che la vegetazione può ridurre l'effetto isola di calore in un'area urbana.

Ci si augura che l'uso di questi strumenti di simulazione entri abbastanza velocemente nella pratica della progettazione delle aree verdi. La conoscenza empirica degli effetti della vegetazione sulle condizioni di comfort termico è cosa antica; sembra però che la moderna pratica del verde urbano abbia trascurato per molto tempo tali effetti a favore di approfondimenti legati maggiormente alla mera percezione visuale (ma, in effetti, non è successa la stessa cosa in edilizia?), soprattutto nei trattamenti "stradali" a base di erba a raso e fioriere. La possibilità di quantificare e visualizzare le differenze di efficacia nel trattamento a verde degli spazi aperti, attraverso tools informatici, potrà, sempre più, convincere i progettisti, confortati da un processo di definizione scientifico, della possibilità di armonizzare aspetti percettivo/sensoriali diversi (visuali, olfattivi, di benessere).

(streets next to green areas; Tab.2). Considering the effects of vegetation on the mean radiant temperatures a difference can be noticed depending on the amount of green areas ("green A", "green B"), vegetation type (green roofs, green areas with trees, shrubs, and grass), atmospheric conditions, locations, building density, and height. The highest temperature reduction due to vegetation has been found in "density2" - "height B" - "green B" with a temperature difference by 1.39 °C for the city of Genoa. In general it can be noticed that the influence of vegetation on surrounding areas with respect to the mean radiant temperature reduction is very low. The simulation output at 1:00 P.M. for the "no green" case shows the Predicted Mean Vote at street level revealing discomfort conditions (hot-warm) with the highest values in a range

of 4.14-5.91. With taller buildings ("height B") the highest PMV reached are lower compared to "height A" and in the case of "density 2" the difference between "height A" and "height B" is more evident. Also in this case it can be noticed that vegetation slightly improves thermal comfort conditions in the whole city area analysed (reduction of PMV highest values 0.47 with "green B", "density 1" and "height B" for the city of Milan).

The results of the cases "density 1, height A for the city of Milan, no green and green B will be now described. Looking at the same time figures 2-3, potential temperatures distribution at 1 P.M. at 1.6 meters, relevant differences can be found between the no green and the green B situations. The most interesting effects can be found inside the green areas where temperatures are in a range of 302.98-303.41

NOTE

¹ <http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/>; <http://ita.arpalombardia.it/>; <http://www.arpalazio.net/main/aria/sci/basedati/meteo.php>.

² Nel caso di Milano i dati finali utilizzati sono: temperatura 23,78 °C, umidità relativa 56,09%, velocità del vento 2,09 m/s, direzione del vento prevalente sud; per Roma temperatura 26,75 °C, umidità relativa 56,67%, velocità del vento 2,43 m/s, direzione del vento prevalente nord; per Genova temperatura 26,67 °C, umidità relativa 67,47%, velocità del vento 3,19 m/s, direzione prevalente del vento sud.

³ Il Predicted Mean Vote (PMV) è un indicatore di comfort definito da Fanger (1970) e citato nelle ISO 7730:2006 (Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale). Il PMV tiene in considerazione diversi parametri (es. la temperatura dell'aria, la temperatura radiante, la velocità del vento); valori positivi indicano sensazione di calore, mentre quelli negativi di freddo. Secondo la ISO 7730:2006, i valori di PMV tra +0,5 e - 0,5 corrispondono a condizioni di comfort termico.

REFERENCES

- Bellomo, A. (2003), *Pareti verdi: linee guida alla progettazione*, Esselibri, Napoli.
- Bruse M. (2009), *ENVI-met 3.1 Manual Contents*, available at: <http://www.envi-met.com> (accessed 25 July 2014).
- Fanger, P.O. (1970), *Thermal Comfort*, McGraw Hill, New York.
- Frazer, L. (2005), "Paving paradise, the peril of impervious surfaces", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 113 No7, pp. 457-462.
- Legambiente (2011), "Mal'aria di città", available at: http://www.omniauto.it/download/articoli/14883/Dossier_Mal_aria_citta_2011.pdf (accessed 25 July 2014).

Kelvin (29.83-30.26 °C), with a difference of 3.5 °C.

With regard to the mean radiant temperature on the ground ($z=0$), values are uniform (341,34 K, 68.19 °C) for all the asphalted area, with the exception of the areas shaded by buildings (Fig. 4). For the green B situation temperatures are lower by up to 32.84 °C inside the green areas (Fig. 5)

Finally, with respect to PMV (Fig. 6-7) an improvement of comfort conditions can be found inside the green areas in a range of 2.12-4.19, demonstrating a very high effectiveness of vegetation in improving comfort conditions.

Conclusions

Since the aim of this study was to quantitatively investigate the influence of several variables which co-cause the Urban Heat Island effect on temperature distribution (potential

temperature and mean radiant temperature) and on outdoor thermal comfort in a typical city area, the following conclusions can be drawn:

- Density and height of buildings in a city area influence potential temperature, mean radiant temperature, and Predicted Mean Vote distribution. It can be noticed that for the cases examined higher density causes higher potential temperatures. The height of buildings plays an important role in determining potential temperatures and PMV at 1.6 meters from the ground level: with taller buildings temperatures are lower due to their shading effect.

- Green areas on the ground (grass, shrubs, trees) are more effective compared to green roofs in reducing summer potential temperatures, mean radiant temperatures, and PMV at street level (1.6 meters high).

Nardino, M. and Georgiadis, T. (2011), *Catena Modellistica per studi micro-meteorologici, microclimatologi e biometeorologici in ambiente urbano*, IBI-MET CNR, Istituto di Biometeorologia, Bologna.

Owen, D. (2009), *Green Metropolis: Why Living Smaller, Living Closer, and Driving Less are the Keys to Sustainability*, Penguin Books, New York.

Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R. (2011), "Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope", *Building and Environment*, Vol. 46, pp. 2287–2294.

Petralli, M., Prokopp, A., Morabito, M., Bartolini, G., Torrigiani, T., Orlandini, S. (2006), "Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella citt  di Firenze", *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, Vol. 1, pp. 51–58.

Scudo, G. and Ochoa De La Torre, J.M. (2003), *Spazi verdi urbani*, Sistemi Editoriali, Napoli.

Shashua-Bar L., Hoffman M.E. (2000), "Vegetation as climatic component in the design of an urban street—an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees", *Energy and Buildings*, Vol. 31, pp. 221–235.

Taha, H. (1997), "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and antropogenic heat", *Energy and Buildings*, Vol. 25, pp. 99–103.

UNI (2006), *EN ISO 7730:2006 Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, available at: http://store.uni.com/magento-1.4.0.1/index.php/uni-en-iso-7730-2006.html?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com (accessed 25 July 2014).

- Different atmospheric conditions and locations influence the effect of vegetation in mitigating summer temperatures and outdoor comfort although with irrelevant differences in most of the cases analysed.

- Within the green areas on the ground and behind the foliage potential temperatures, mean radiant temperatures, and PMV are much lower compared to the highest temperatures recorded in the whole city area analysed (ΔT_{pot} around 3.5 °C; ΔT_{rad} around 20 °C; ΔPMV around 2); however vegetation can reduce summer temperatures, which means that vegetation can reduce the Urban Heat Island Phenomenon in a whole city area.

Hopefully the use of these simulations tools will be part of the green areas design practice soon. The empirical knowledge of the effects of vegetation on thermal comfort is ancient; howev-

er it seems like modern design practice for urban vegetation did not take into account these aspects to focus more on aesthetic aspects (isn't this the same that happened with buildings?). The possibility to quantify and visualize the difference performances of green areas by means of IT tools will drive designers to consider and match perceptive/sensorial aspects (visual, smell, wellbeing).

NOTES

¹ <http://www.cartografiar.l.regione.liguria.it/>; <http://ita.arpalombardia.it/>; <http://www.arpalazio.net/main/aria/sci/basedati/meteo.php>.

² In the case of Milan the data used are: temperature 23.78 °C, relative humidity 56.09 %, Wind speed 2.09 m/s, wind direction South; for Rome temperature 26.75 °C, relative humidity 56.67 %, Wind speed 2.43 m/s, wind

direction North; for Genoa temperature 26.67 °C, relative humidity 67.47 %, Wind speed 3.19 m/s, wind direction South.

³ The Predicted Mean Vote is mentioned in the ISO 7730:2006 ("Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria"). PMV takes into account several parameters (e.g. air temperature, mean radiant temperature, wind speed); positive values indicate hot-warm, while negative values cold. According to the ISO 7730:2006 PMV values between +0.5 and -0.5 correspond to a well-being thermal comfort condition.