

## *Cambio climatico e resilienza urbana: possibili strumenti di adattamento per l'Uhi nell'area centrale veneta*

di *Francesco Musco, Laura Fregolent, Davide Ferro, Filippo Magni,  
Denis Maragno e Davide Martinucci*

### **Progettare città resilienti: una necessità di futuro**

Gli scenari climatici globali e regionali indicano – con margine di errore modesto – un aumento delle temperature superficiali nell'area centrale europea fino a 3-4 gradi per la fine del secolo corrente. Se si legge questa previsione associandolo agli inattesi cambi nella stagionalità delle precipitazioni è facile concludere che alla fine del secolo l'ambiente nel suo complesso, sarà assai diverso da quello attuale (Ippc, 2013).

Al contempo la pianificazione ordinaria non è sempre in grado di garantire una rapida risposta alla complessità degli impatti che variabilità climatiche sempre più rapide impongono ai sistemi urbani e territoriali. Risulta quindi prioritario individuare sistemi di innovazione degli strumenti di pianificazione, volti a garantire una adeguata capacità di coordinamento delle azioni per incrementare la resilienza di un territorio alla variabilità degli impatti locali, in particolare in termini di intensificazione dei fenomeni atmosferici estremi (dalle precipitazioni, alle ondate di calore).

Dal punto di vista della pianificazione urbana e territoriale, la resilienza può essere incrementata operando sull'adattabilità degli elementi costitutivi dei sistemi socio-economico-ambientali operanti in un determinato contesto: in quest'ottica, l'incremento della resilienza può garantire l'assorbimento di shock esterni di diversa natura (cambio climatico, disastri naturali, cambi repentini del sistema economico locale) e rispondere a destabilizzazioni rinnovandosi e adattandosi al cambiamento indotto (Folke *et al.*, 2003). Progettare territori resilienti rappresenta un tentativo di coniugare funzionalità, flessibilità e adattabilità, assumendo che la sostenibilità di tale contesto non comprende solo le tre dimensioni generalmente considerate, ambientale, economica e sociale, ma anche quella climatica ed energetica (Magni, Lucchitta, 2013).

### **La città nel panorama del cambiamento climatico**

L'interesse verso città sempre più resilienti sta subendo una forte crescita, non solo a livello europeo ma mondiale. Ad oggi è difficile parlare però di città resi-

lienti, nel loro complesso, mentre è possibile trovare percorsi di riqualificazione e progettazione a scala di quartiere (Vauban a Friburgo, Hammarby a Stoccolma e Bedzed a Londra, alcuni degli esempi più noti) oppure di iniziative settoriali (legate soprattutto alle infrastrutture di produzione energetica). Considerato l'incremento d'importanza che la variabile climatica sta acquisendo nell'attuale scenario di cambiamento, le città rappresentano i luoghi principali per mettere alla prova le capacità di adattamento dei sistemi urbani di fronte alle conseguenze provocate dai cambiamenti climatici. I sistemi urbani svolgono un ruolo di produzione di esternalità negative clima alteranti operando un ruolo attivo-negativo, ma al contempo divengono il contesto privilegiato di sperimentazione e di innovazione di nuove pratiche di mitigazione e adattamento agli impatti che esse generano, svolgendo un ruolo attivo-positivo (Musco, 2012), come più volte ribadito dalle principali reti internazionali di governi urbani<sup>1</sup>.

L'innalzamento del livello dei mari, con diretta influenza sui sistemi di pianificazione delle città portuali e costiere, l'intensificazione dei fenomeni atmosferici in brevi periodi dell'anno (piogge, fenomeni temporaleschi) piuttosto che la loro distribuzione in periodi più lunghi, con una necessità di adattamento dei sottoservizi delle aree urbane (impianti di smaltimento acque piovane) e il progressivo aumento delle temperature sono alcune delle conseguenze che le città e i governi locali si troveranno a dover affrontare in maniera sempre più strutturata attraverso azioni di *mitigation procedures* da un lato e di *adaptive capacity* dall'altro.

## **I cambiamenti climatici e l'effetto *Urban heat island* (Uhi)**

Le cause dell'Uhi sono intrinseche al funzionamento delle città, al modo in cui esse sono state costruite e dal rapporto tra superficie impermeabile e permeabile (Oke, 1981). I sistemi urbani – anche a seguito di processi di espansione e impermeabilizzazione dei suoli – si trovano oggi a dover affrontare un aumento delle temperature, registrato e confrontato rispetto alle aree rurali a loro contigue, definito come “isola di calore urbana”. Il fenomeno è caratterizzato un differenziale di temperatura tra centro e periferia fino a 10-15 °C più elevata.

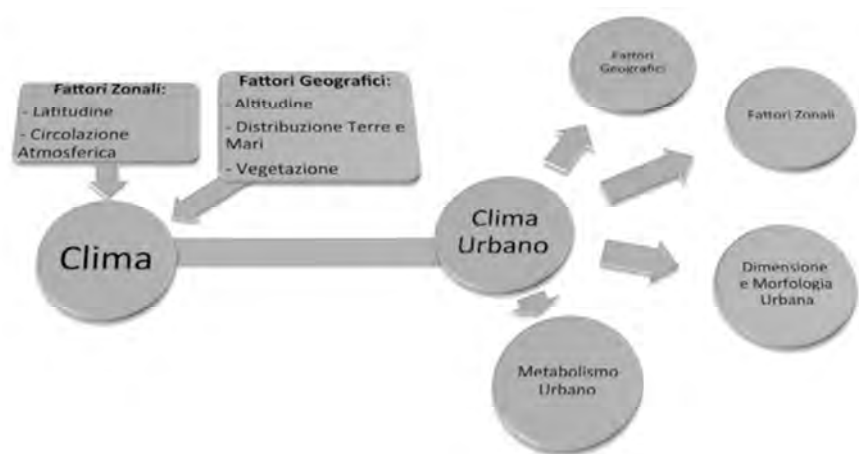
Le isole di calore hanno un impatto che va oltre quello locale (che è quello più macroscopico), contribuendo infatti sulla scala vasta all'incremento delle tempera-

<sup>1</sup> Alla conferenza mondiale sul clima organizzata dalle Nazioni Unite a Durban nel dicembre 2011 è stato presentato dai rappresentanti dei governi locali un documento sottoscritto da oltre 500 città di tutto il mondo in cui si riconosce «che le città sono i centri dell'innovazione economica, politica e culturale, motori delle economie nazionali e gestiscono importanti risorse, investimenti ed infrastrutture pubbliche» e che «i governi locali rivestono un ruolo strategico nell'affrontare i cambiamenti climatici per la loro responsabilità in piani e regolamenti che possono influenzare adattamento e mitigazione e la loro capacità di dimostrare leadership e adottare soluzioni innovative su questi temi» sottolineando «il valore degli sforzi costruiti a partire dall'Earth Summit, con la Climate Roadmap del 2007, e gli impegni più recenti assunti dai governi locali incluso il “Global Cities Covenant on Climate – the Mexico City Pact 2011” e la “Bonn Declaration of Mayors” sempre del 2011».

ture medie, ma soprattutto sottolineano in maniera inequivocabile la relazione che intercorre tra urbanizzazione e cambiamenti ambientali.

Più specificatamente, per isola di calore (Uhi) si fa riferimento a quel fenomeno fisico che si sviluppa nei maggiori agglomerati urbani in cui si determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane rispetto alle zone rurali circostanti. L'isola di calore è un esempio di cambiamento del clima "accidentale o indiretto" in quanto, a causa delle modalità di urbanizzazione (in particolare l'elevata presenza di spazio costruito in rapporto al verde) vengono alterate le caratteristiche climatiche locali. Il microclima urbano è dato dall'interazione dei fattori climatico geografici locali con la città (Fig. 1); la dimensione urbana, la sua morfologia e le attività umane che in essa si sviluppano, modificando i naturali andamenti dei fenomeni climatici della zona geografica di riferimento. I problemi che ne conseguono possono essere molteplici.

Fig. 1 – Clima e il microclima urbano.



In primis una scarsa vivibilità, riduce la dispersione dell'inquinamento atmosferico, aumenta i costi energetici per il raffrescamento degli edifici (Papadopoulos, 2001), riduce la biodiversità urbana (Oke, 2006) e funge da fattore moltiplicatore alle ondate di calore generate dal *global warming*<sup>2</sup>, aumentando i rischi di impatti sulla salute per le fasce di popolazioni a rischio<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> L'Ipcc, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, nel 1990 pubblicò il primo rapporto sui cambiamenti climatici, dal quale è entrato nel linguaggio comune il termine "*global warming*".

<sup>3</sup> *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Si tratta di una dettagliata analisi dei cambiamenti climatici in corso, dei loro impatti e delle misure economiche e politiche che devono essere adottate per mitigare le cause di tali cambiamenti e facilitare l'adattamento dei no-

A partire dagli studi di Oke negli Stati Uniti<sup>4</sup>, il fenomeno Uhi è stato spesso analizzato esclusivamente dalla prospettiva della fisica tecnica e ambientale, con legami con la pianificazione e l'urbanistica alquanto modesti.

In realtà l'urbanistica rappresenta un elemento il surriscaldamento estivo delle aree urbane rappresenta un contributo sempre più rilevante in rapporto ai fenomeni di variabilità climatica sul territorio; questo implica che nella definizione di una strategia complessiva di adattamento a livello urbanistico, risulterà fondamentale orientarne gli ambiti e le priorità di intervento, definendone costi e strumenti d'azione. Intervenire sul territorio delle città, perseguendo una riduzione delle temperature urbane e adattando le zone maggiormente a rischio alle nuove incidenze atmosferiche, obbliga inoltre ad agire attraverso un approccio ecosistemico capace di considerare, da una parte, i processi di trasformazione indotti dall'uomo e dall'altra, il reintegro e il ripristino dei sistemi naturali.

### **Il contesto di studio: il progetto Uhi e la città di Padova come laboratorio per l'area centrale veneta**

La ricerca è stata resa possibile dalla partecipazione del gruppo di lavoro dell'Università Iuav di Venezia al progetto europeo "*Uhi – Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon*" (3CE292P3)<sup>5</sup> su incarico della Regione Veneto e finanziato nell'ambito del Programma di Cooperazione Territoriale Central Europe 2007/2013. Il progetto si è posto l'obiettivo generale di studiare il fenomeno delle "isole urbane di calore", individuando misure volte alla sua mitigazione attraverso una più efficace gestione del rischio per la salute umana anche tramite l'inserimento di misure preventive di allerta nei sistemi di protezione civile vigenti e di riduzione e contenimento del fenomeno. La fase progettuale ha avuto inizio nel maggio 2011 ed ha una durata prevista di tre anni. Le città partner partecipanti al progetto rappresentano otto tra le maggiori aree metropolitane della regione centrale europea.

Il lavoro parte da alcuni presupposti legati alle specificità territoriali della pianura veneta, per lo più caratterizzata da centri storici di piccole dimensioni e da un sistema insediativo diffuso sviluppatosi fortemente in anni recenti. Si tratta quindi di un territorio già intensamente antropizzato, contraddistinto da tipologie insediative con tratti comuni e per il quale nel prossimo futuro sono prevedibili sviluppi prevalentemente legate alla trasformazione dei tessuti esistenti. La Regione Veneto ha inteso valorizzare l'esperienza del progetto, per approfondire gli aspetti che legano clima locale, struttura degli insediamenti e formazione dell'effetto isola di calore, con l'obiettivo principale di orientare – nel prossimo futuro – le linee di in-

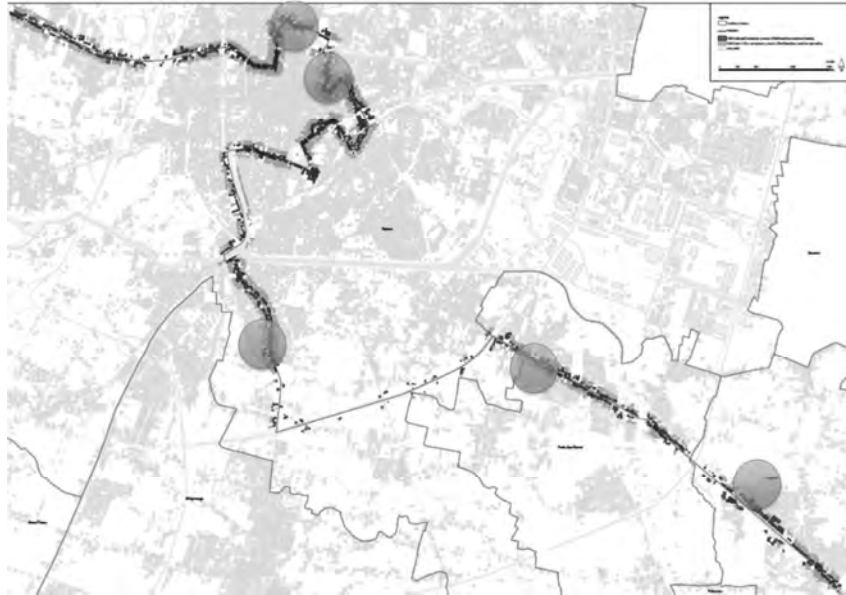
stri sistemi economici e sociali. Lo studio richiese due anni di lavoro e fu redatto da Nicholas Stern e da un gruppo di ricercatori inglese nel 2005-2006.

<sup>4</sup> T.R. Oke ha cominciato a occuparsi del fenomeno delle isole di calore alla fine degli anni Settanta. Alcuni suoi lavori sono stati utilizzati anche per la redazione di questo saggio.

<sup>5</sup> Si veda per approfondimenti il portale del progetto: eu-uhi.eu.

dirizzo dei propri strumenti di pianificazione e gestione del territorio. In questa prospettiva è stato scelto il territorio della città di Padova, come “laboratorio” per condurre gli approfondimenti e delinare prime ipotesi di soluzioni urbanistiche appropriate alla calmierazione dell’isola di calore.

Fig. 2 – In transetto di rilevazione attraverso la città.



Con la prima fase di approfondimento sono state identificate cinque aree pilota all’interno della città di Padova, aree sulle quali operare analisi preliminari del tessuto urbano e le prime rilevazioni *in situ* circa presenza dell’effetto isola di calore urbano; tali aree sono state individuate sulla base della loro collocazione rispetto ad un transetto di rilevazione che attraversa la città di Padova lungo l’asse nord-ovest, sud-est e rispetto a caratteristiche intrinseche legate alla loro struttura insediativa.

**Ambito 1** – Un’area urbana densa posta all’interno del centro storico di origine medievale.

**Ambito 2** – Un’area d’uso misto, situata a ridosso del principale corso d’acqua cittadino e un grande parcheggio (ex stazione autobus).

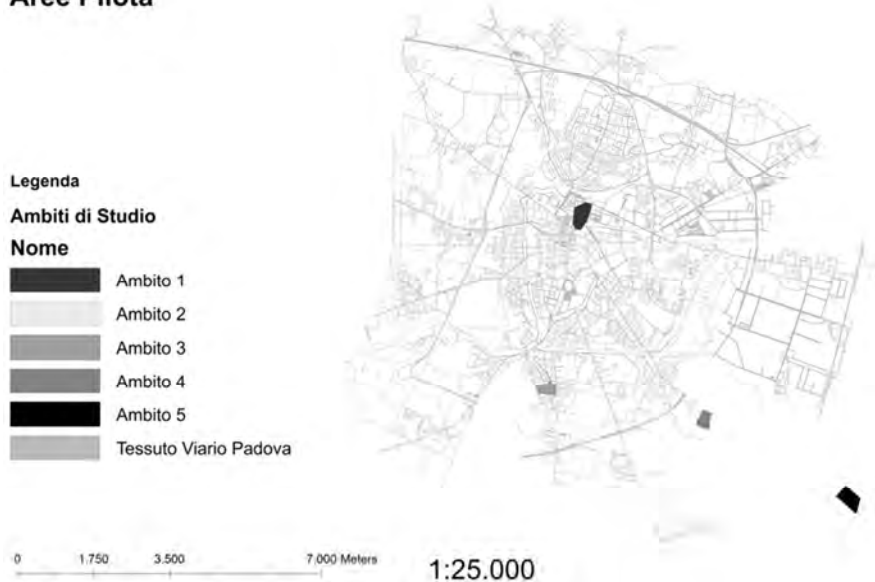
**Ambito 3** – Un’area residenziale, definita ad “alta densità”, realizzata negli anni Sessanta-Settanta;

**Ambito 4** – Un’area residenziale, definita a “bassa densità”, realizzata anch’essa negli anni Sessanta-Settanta, posta nel primo anello esterno alla città e composta da edifici isolati di 1/2 piani;

**Ambito 5** – Un’area produttiva, localizzata all’esterno del comune di Padova.

Fig. 3 – Carta della dislocazione delle aree pilota individuate dal gruppo lavoro.

### Aree Pilota



### Le metodologie di analisi: cartografia tradizionale e remote sensing: l'area pilota di via Guizza e via Pindemonte a Padova

La prima parte della ricerca è stata finalizzata all'identificazione di una metodologia adeguata per l'analisi delle isole di calore urbane dal punto di vista dell'urbanistica. Le sole misure della temperatura atmosferica (anche in più punti di un sistema urbano) sono un descrittore importante, ma non è sufficiente per far emergere le cause, e soprattutto, fornire informazioni riguardanti le tipologie di interventi atti a mitigare l'effetto.

Le cause del maggior accumulo di calore in alcune aree urbane rispetto ad altre, o rispetto l'ambiente rurale vicino, sono molteplici e di difficile identificazione, inoltre i dati normalmente elaborati dalle pubbliche amministrazioni nei processi di gestione del territorio non considerano le variabili utili per identificare tale fenomeno.

Le informazioni indispensabili al fine di valutare la resilienza di un'area alle ondate di calore e far emergere le misure essenziali al suo adattamento sono (Tab. 1):

- superficie area pavimentata<sup>6</sup>;

<sup>6</sup> Le misure delle diverse tipologie di copertura suolo, nello studio dell'isola di calore urbana, devono essere molto accurate, con un'incertezza di misura sull'ordine di pochi metri.

- superficie area permeabile;
- superficie costruita;
- Sky View Factor<sup>7</sup>;
- compattezza urbana;
- incidenza solare;
- riflettanza/albedo;
- conducibilità termica dei materiali.

Tra le cinque aree pilota inizialmente analizzate, la scelta dell'area sulla quale ipotizzare le soluzioni di tecnica urbanistica è caduta sull'“ambito 3”, un quartiere residenziale (costruito negli anni Sessanta-Settanta) caratterizzato da un'alta densità edilizia e piuttosto rappresentativa di molti dei contesti residenziali realizzati nello stesso periodo anche in altre città. Il lavoro di analisi sul tessuto urbano esistente, è avvenuto tenendo in considerazione le linee guida indicate dal partener di progetto austriaco, la Technische Universität di Vienna (Tab. 1). La maggior parte dei dati richiesti non erano reperibili tra le fonti informative esistenti. Il grande dettaglio richiesto, soprattutto nel rilevamento delle superfici permeabili e del costruito, oltre che dello *sky view factor* hanno obbligato ad definire una metodologia appropriata di raccolta delle informazioni. Si è lavorato sviluppando due metodi tra di loro alternativi ma complementari: un primo ricorrendo ad un rilievo tradizionale sul campo, classificando nel dettaglio le diverse tipologie di copertura del suolo oltre che di altezza e classe tipologica degli edifici (Fig. 4). E un secondo affidandosi invece ai sistemi di *remote sensing* e di elaborazione di dati tridimensionali LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) (Figg. 5-11). Il primo metodo ha permesso di mappare il quartiere pilota in modo molto preciso, inventariando i materiali costruttivi di tutte le superfici, oltre a indicare le loro possibili proprietà termiche. Il secondo metodo ha richiesto un minor tempo di raccolta e ha permesso di reperire informazioni ulteriori utili per descrivere il fenomeno del surriscaldamento reale e potenziale. Il vantaggio dell'identificazione e classificazione in forma automatica degli oggetti urbani è legata in primo luogo alla velocità di esecuzione. La definizione di un doppio metodo di analisi, assicurerà inoltre – come output di progetto – la replicabilità per tutti i comuni dell'area centrale veneta, a seconda della loro dotazione informativa e tecnologica.

<sup>7</sup> Detto anche “fattore vista cielo”, indica l'apertura al cielo dalla quota di superficie. È un indicatore molto importante poiché si esprime attraverso il rapporto tra la profondità dei canyon urbani e la loro densità. Il valore è espresso da 0 a 1. In termini di Uhi, uno Svf significativo (edifici alti, divisi da una strada stretta) traduce la possibilità di un maggiore accumulo di calore degli edifici interessati. Questo avviene perché, l'irradiazione solare “imprigionata” nel canyon, rimbalza tra gli edifici riscaldandoli in misura maggiore rispetto a una situazione di apertura.

Tab. 1 – All'interno della tabella sono contenuti gli indicatori formulati dalla Technische Universität di Vienna (TU-Wien). Gli indicatori aiutano a leggere le aree urbane traducendone la predisposizione ad accumulare calore mediante un range che va da 0 a 1.

**Proposed variables for the specification of an urban unit of observation (U2O)**

DOCUMENT WPS-UHI-01\_112012

WP 5, authors: A. Mahdavi, K. Kiesel, M. Vuckovic (November 5<sup>th</sup>, 2012)

Geometric properties	Symbol	Unit	Range	Definition
Sky View Factor	$\psi_{sky}$	-	0-1	Mean value of the fraction of sky hemisphere visible from ground level
Aspect ratio	H/W	-	0-1	Mean height-to-width ratio of street canyons, consider length of streets as a weighting factor
Built area fraction	$A_b/A_{tot}$ $A_b$ : building plan area [m <sup>2</sup> ] $A_{tot}$ : total ground area [m <sup>2</sup> ]	-	0-1	Ratio of building plan area to total ground area; fraction of ground surface with building cover
Unbuilt area fraction	$1 - A_b/A_{tot}$	-	0-1	Ratio of unbuilt plan area to total ground area; fraction of ground surface without building cover
Impervious surface fraction	A	-	0-1	Ratio of unbuilt impervious plan area (paved, sealed) to total ground area
Pervious surface fraction	$A_p = (A_s + A_g + A_w)$ $A_s$ : soil $A_g$ : green $A_w$ : water	-	0-1	Ratio of unbuilt pervious plan area (bare soil, green, water) to total ground area
Mean building compactness	$\lambda$	m	-	Ratio of built volume (above terrain) to total building plan area
	$\lambda = V_b / A_b \cdot h$			

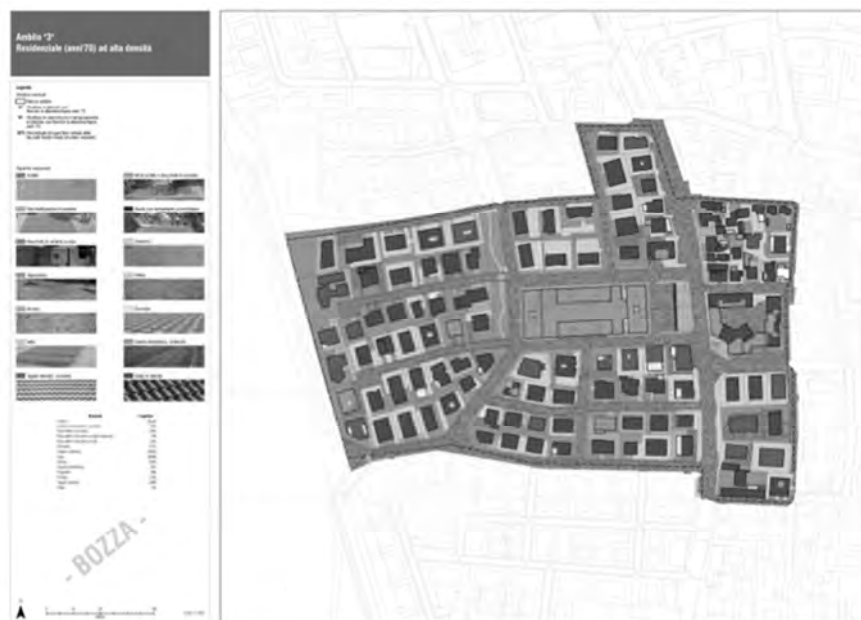
Surface/material properties	Symbol	Unit	Range	Definition
Reflectance/albedo	$\rho_{sw}$	-	0-1	Mean value of albedo (shortwave)
Thermal conductivity	$\lambda = (\lambda_i + \lambda_p)$	W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	>0	The property of a material's ability to conduct heat
	$\lambda_i$ : impervious surface	W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	>0	Thermal conductivity of impervious surfaces
	$\lambda_p$ : pervious surface	W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	>0	Thermal conductivity of pervious surfaces
Specific heat capacity	$c = (c_i + c_p)$	J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	>0	The amount of heat required to change a unit mass of a material by one degree in temperature
	$c_i$ : impervious surface	J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	>0	Specific heat capacity of impervious surfaces
	$c_p$ : pervious surface	J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	>0	Specific heat capacity of pervious surfaces
Density	$\rho = (\rho_i + \rho_p)$	kg·m <sup>-3</sup>	>0	The mass density of a material is its mass per unit volume
	$\rho_i$ : impervious surface	kg·m <sup>-3</sup>	>0	The mass density of impervious surfaces
	$\rho_p$ : pervious surface	kg·m <sup>-3</sup>	>0	The mass density of pervious surfaces
Anthropogenic heat output	$Q_a$	W·m <sup>-2</sup>	>0	Mean annual heat flux density from fuel combustion and human activity (traffic, industry, heating and cooling of buildings, etc.)

**Main references:**

- Mahdavi, A., Kiesel, K., Vuckovic, M., 2013. A framework for the evaluation of urban heat island mitigation measures, SB13 Conference, Munich, Germany (to be published)
- Stewart, I. D., Oke, T. R. 2012. Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society
- Unger, J., Savic, S., Gal, T. 2011. Modelling of the Annual Mean Urban Heat Island Pattern for Planning of Representative Urban Climate Station Network. Advances in Meteorology, 2011, p. 1-9



Fig. 4 – Analisi dell'ambito 3. Rilevazioni eseguite sul campo.



Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Per eseguire le analisi mediante il metodo del telerilevamento è importante disporre, per l'intera area amministrativa, dei dati LiDAR<sup>8</sup> e delle ortofoto ad alta risoluzione e contenenti la banda dell'infrarosso. Il LiDAR è un telerilevamento aereo che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie attraverso l'emissione impulsi laser ad altissima frequenza da un dispositivo in quota (aereo o drone). La distanza dell'oggetto è data dalla misura del tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione dello stesso. L'altissima frequenza di impulsi che colpiscono rimbalzando dagli oggetti o dal suolo vengono convertiti in punti georeferenziati e quotati, dando origine così ad una "nuvola di punti" dalla quale è possibile creare un'esatta ricostruzione del territorio in modelli tridimensionali. Questa tecnica ha offerto la possibilità di conoscere, per ogni area selezionata, i m<sup>2</sup> di vegetazione (distinti per altezza, verde a terra e alberature), il rapporto tra superficie permeabile e impermeabile e l'irradiazione solare incidente oltre allo *sky view factor*.

<sup>8</sup> L'altissima densità dei punti LiDAR, permette di ricostruire le geometrie del territorio. Il territorio riprodotto tridimensionalmente in forma digitale, può essere analizzato da diversi algoritmi informatici, capaci di determinare sull'ordine del mezzo metro: le pendenze (suolo e oggetti, come i tetti), l'orientamento, la mappa d'incidenza solare (giorno, mese, anno), lo Sky View Factor, le ore di sole (giorno, mese, anno), la mappa di diffusione dell'irraggiamento solare ecc.

Gli elaborati, sovrapposti alle ortofoto restituiscono rielaborazioni classificate e quotate.

Fig. 5 – Vista di Padova restituita dalla fitta “nivola di punti” LiDAR. Sullo sfondo si intravede il Velodromo e Prato della Valle.



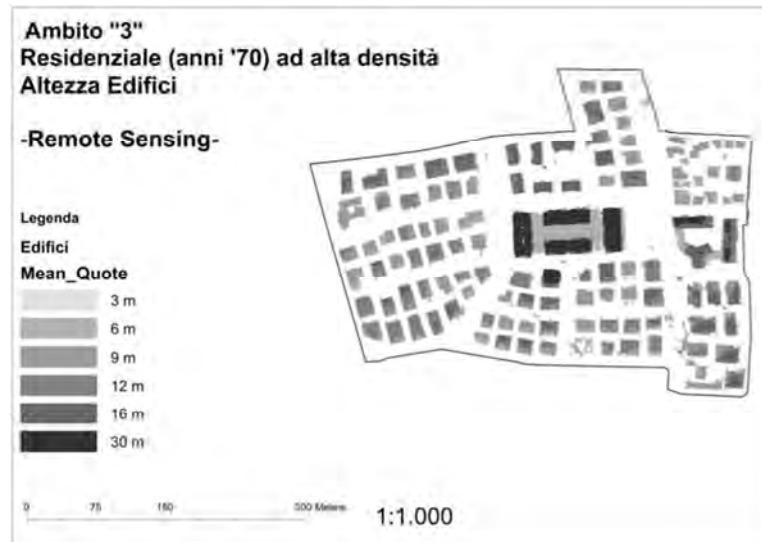
Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Fig. 6 – Analisi delle superfici orizzontali urbane. La tecnica utilizzata ha permesso la suddivisione delle superfici dell'area selezionata attraverso una procedura automatica. La possibilità di scomporre e misurare le tipologie di copertura della città con un dettaglio di  $0,5\text{ m}^2$ , ha permesso la creazione di un atlante delle superfici di grande dettaglio utile non solo agli studi concernenti l'isola di calore urbana, ma adatto anche a supportare le analisi riguardanti il rischio idrologico e la valutazione degli servizi ecosistemi urbani.



Fonte: elaborazione Iuav (2013)

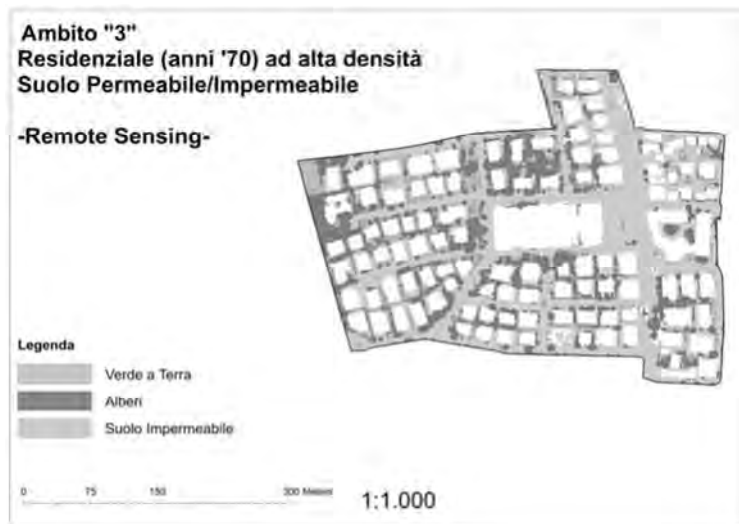
Fig. 7 – Analisi degli edifici eseguita utilizzando metodologia Remote Sensing descritta nella Figura 5. I dati ricavati dall'analisi dei dati LiDAR e le ortofoto ad altissima risoluzione (0,2 m) possono essere elaborati da qualsiasi software GIS e trasformati in dati vettoriali. In questo modo è possibile sapere non solo il rapporto tra superficie permeabile e superficie impermeabile, ma anche l'altezza di ogni singolo oggetto riconosciuto dalle analisi di remote sensing come "permeabile" o "impermeabile".



Fonte: elaborazione Iuav (2013)

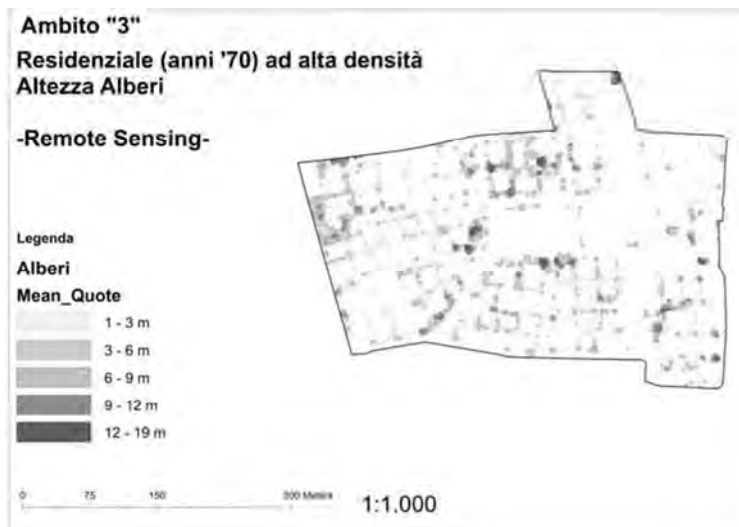
Tecnicamente la fase di analisi è avvenuta mediante la creazione di modelli tridimensionali del terreno espressi in forma digitale, DSM (*Digital Surface Model*) e DTM (*Digital Terrain Model*) i quali hanno permesso di identificare e inventariare la composizione delle superfici orizzontali urbane. Unendo i DEM (*Digital Elevation Model*) ottenuti attraverso l'elaborazione dei dati LiDAR con le ortofoto multispettrali (contenente la banda dell'infrarosso vicino) si è avuta la possibilità di suddividere in forma automatica le superfici orizzontali delle città per tipologia e altezza; ottenendo così un atlante delle superfici composto da alberi con relativa altezza, superfici a verde e spazi impermeabili (edifici, strade, parcheggi) (Figg. 6-8). Successive analisi, formulate attraverso software open source (Saga Gis, Lastools e Grass), hanno permesso infine la creazione di ulteriori elaborazioni cartografiche, utili a indirizzare le azioni di mitigazione e adattamento, quali lo *sky view factor* e mappa dell'irraggiamento solare (Figg. 10-13). La forza di queste tecniche di analisi risiede nella loro replicabilità in aree urbane molto estese, le quali richiederebbero mesi per raggiungere il dettaglio raggiunto col le rilevazioni sul campo.

Fig. 8 – Atlante delle superfici “a terra”. La figura illustra il rapporto tra superfici verdi e pavimentate al nudo degli edifici. Le informazioni tradotte in forma vettoriale, contenenti le quote di ogni singolo elemento individuato, permettono di interrogare il dato e scomporre la città in tutte le tre dimensioni.



Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Fig. 9 – Atlante del verde urbano.



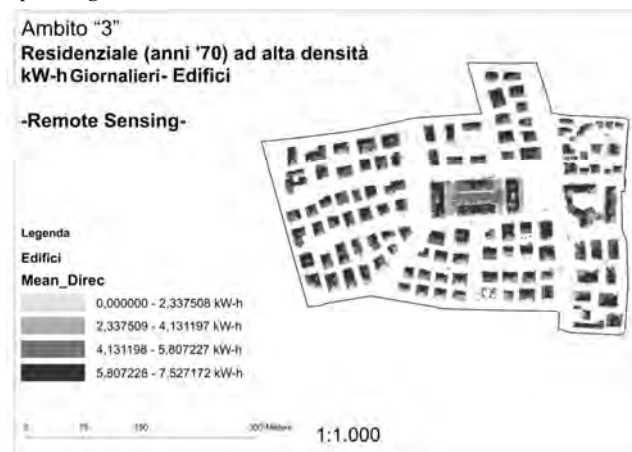
Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Fig. 10 – Analisi dello sky view factor. Lo SVF, o fattore vista cielo, misura l'apertura angolare della vista cielo dalla quota 0 dei Canyon Urbani. Calcolare lo SVF senza avere un modello digitale della città espresso forma tridimensionale è molto dispendioso in termini di tempo e risorse, impensabile poterlo eseguire su un'area urbana intera. Poter disporre del calcolo dello SVF, nello studio dell'isola di calore urbana, è molto importante in quanto permette di identificare le superfici verticali degli edifici maggiormente predisposte ad accumulare calore.



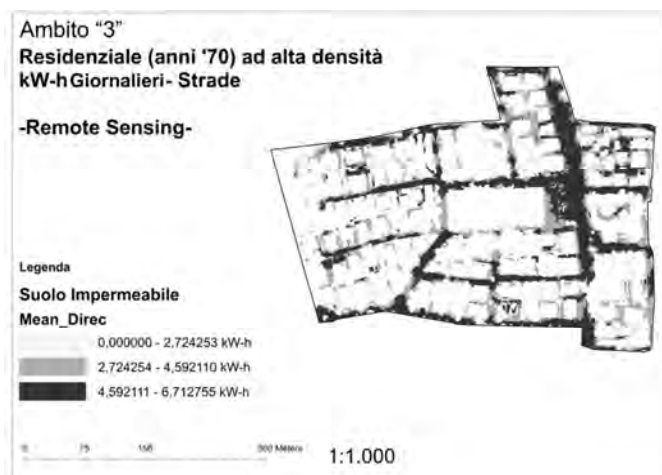
Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Fig. 11 – La figura illustra l'analisi dell'irraggiamento solare compiuto sugli edifici all'interno dell'area di studio. Il vantaggio di disporre del modello digitale del terreno in tre dimensioni permette ai software gis di calcolare l'irraggiamento solare di ogni superficie attraverso complessi algoritmi che simulano il percorso solare e la conseguente proiezione delle ombreggiature degli oggetti urbani. In questo modo l'analisi restituita, oltre essere di grande dettaglio permette di quantificare l'irraggiamento accumulato in un dato periodo di tempo di ogni elemento urbano in termini di ore e Kwh.



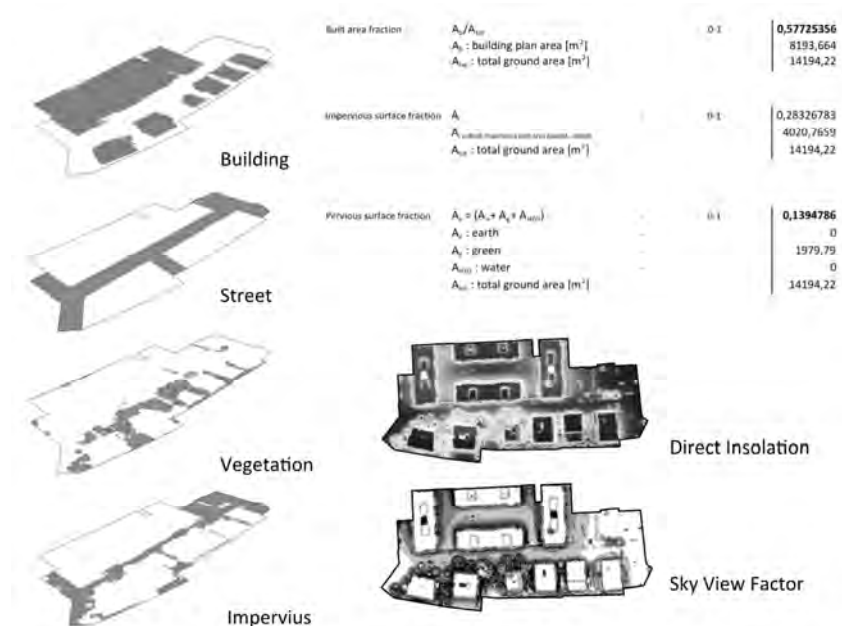
Fonte: elaborazione Iuav, (2013)

Fig. 12 – Rappresentazione dell'incidenza solare sul suolo eseguita utilizzando metodologia Remote Sensing. Si noti la facilità con cui si distinguono le superfici prive di ombreggiature da quelle ombreggiate e conseguentemente meno calde.



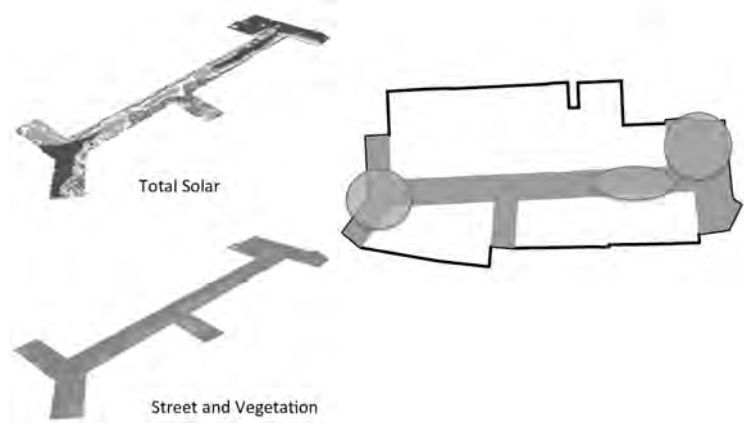
Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Fig. 13 – Esempio di elaborazioni eseguite durante il progetto. Tutti i livelli informativi ottenuti, una volta sovrapposti permettono di indentificare puntualmente le aree di intervento.



Fonte: elaborazione Iuav (2013)

Fig. 14 – L'immagine illustra l'identificazione delle zone d'intervento alla fine del percorso d'analisi.



Fonte: elaborazione Iuav (2013)

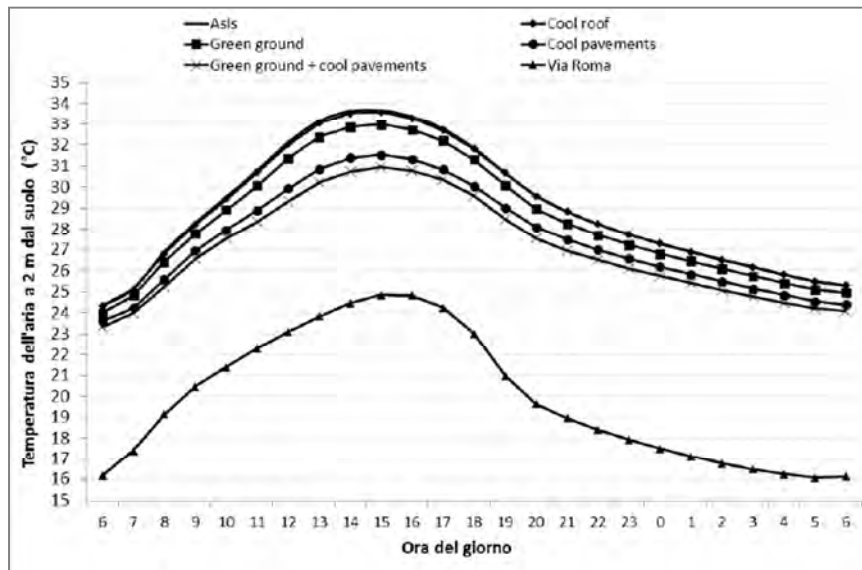
L'analisi sugli aspetti morfologici del tessuto urbano ha condotto alla costruzione di quattro differenti scenari progettuali di trasformazione dell'area ai fini della mitigazione dell'effetto isola di calore:

- a) "green ground": scenario in cui si ipotizza di aumentare la superficie permeabile dell'area (dal 18% al 23%) mediante conversione di un parcheggio asfaltato in superficie erbosa e piantumazione di alberi alti 10 m lungo le principali strade della zona;
- b) "cool pavements": sostituzione del tradizionale asfalto (albedo 0,2) e cemento (albedo 0,4) utilizzato su strade e marciapiedi con materiali "freddi", cioè con elevato albedo (0,5);
- c) "cool roofs": sostituzione dei tradizionali tetti a tegola o piani rivestiti con materiali "freddi" (albedo da 0,3 a 0,6);
- d) "green ground + cool pavements": scenario dato dalla contemporanea adozione delle due azioni di mitigazione descritte.

I quattro scenari sono stati utilizzati dall'unità di ricerca di fisica ambientale dell'Università di Padova<sup>9</sup> per le simulazioni riguardanti l'efficacia in termini di riduzione di temperatura delle differenti azioni di mitigazione.

<sup>9</sup> Marco Noro, Filippo Busato, Renato M. Lazzarin.

Fig. 15 – Andamento della temperatura a 2 m sopra il suolo durante le 24 ore della giornata estiva per un punto caratteristico dell'area pilota modellizzata in ENVI-met (parcheggio asfaltato di fronte a condominio) e per il punto in via Roma rappresentativo della zona rurale (aperta campagna). La differenza tra le curve superiori e quella relativa a via Roma indica l'intensità del fenomeno UHI per le diverse azioni di mitigazione ipotizzate, a partire dallo scenario attuale ("AsIs")



Fonte: elaborazione Università di Padova (2013)

### Dalle tecniche di mitigazione, agli strumenti di pianificazione e gestione del territorio

Ognuno dei cinque ambiti di intervento scelti per questo progetto, sono frutto di un diverso palinsesto di trasformazioni fisiche avvenute nell'arco di diversi anni. Nel caso specifico dell'area pilota di progetto, ci si trova ad operare in una parte di città realizzata tra gli anni Sessanta e gli anni Settanta del Novecento, edifici e infrastrutture pubbliche costruite su standard urbanistici ed esigenze sociali dell'epoca. Se gli edifici non hanno subito grandi trasformazioni, rimanendo per lo più nello stato originario (fatte salvo le opere di manutenzione), lo spazio urbano è stato al centro di sensibili modificazioni, innescate per lo più dall'evolversi delle esigenze di locomozione. In una prima fase, non ancora del tutto terminata, le trasformazioni sono avvenute assecondando la spinta della conquista dello spazio urbano da parte delle automobili, dando una forte priorità alle aree a parcheggio, togliendo superfici utilizzate per il verde e per le alberature; nell'ultimo decennio, le trasformazioni più importanti sono avvenute per dare spazio a forme alternative di viabilità: la nuova sede tranviaria e le piste ciclabili. Questo scenario rappresenta la



base di riferimento, per qualsiasi proposta realistica di trasformazione di spazi ed edifici, sia pubblici che privati.

Il lavoro – che occuperà gran parte della seconda fase della ricerca – è consistito nel comprendere la metodologia per connettere l'eventuale azione di mitigazione, con la politica o strumento di governo del territorio, oltre che ovviamente con il settore comunale competente (Figg. 16-17). La tecnica di mitigazione, precedentemente testata dal punto di vista prestazionale dalle simulazioni condotte con l'unità di ricerca dell'Università di Padova, può trovare così un percorso pratico di potenziale applicazione. I primi risultati già evidenziano, quali strumenti utilizzare, oltre agli interessi in gioco di ciascun settore dell'amministrazione. Le misure che troveranno la convergenza di più settori saranno con molta probabilità le più efficaci e facili da applicare.

I risultati evidenziano come, per le porzioni di città ricadenti all'interno della proprietà pubblica, gli interventi con più alto grado di efficacia ricadono sotto le competenze del settore della manutenzione pubblica, il quale ha in capo la responsabilità sulle trasformazioni, di tutte le superfici esistenti, con la possibilità di intervenire sull'albedo e contribuire al controllo dell'assorbimento di calore su grande scala. Per le proprietà private già costruite, gli ambiti d'azione normativa si riducono invece alla regolamentazione attraverso lo strumento del regolamento edilizio. L'ultima fase della ricerca e del progetto Uhi permetterà di dare risposte operative sul fronte degli scenari di progettazione e del ruolo della tecnica e pianificazione urbanistica nella calmierazione degli impatti delle isole di calore urbano.

Fig. 16 – Proprietà pubbliche e strumenti di mitigazione di Uhi.

Proprietà	Oggetto	Misure di Mitigazione	Politica/ Strumento	Settori Coinvolti
Pubblica	Strada	Albedo coperture e permeabilità pavimentazione	Programma di riasfaltatura	Settore manutenzioni
	Parcheggio			
	Marciapiedi	Apertura nuove aiuole	Progetti specifici di riqualificazione spazi pubblici	Settore verde pubblico Settore infrastrutture
	Piazza			
	Alberature	Manutenzione Esistente	Piano del verde	Settore verde pubblico
		Nuove piantumazioni	Progetti specifici di riqualificazione	Settore infrastrutture
Edificio	Albedo tetti/facciate	Progetti specifici di riqualificazione/ nuovi edifici	Settore edilizia pubblica	

Fig. 17 – Proprietà private e strumenti di mitigazione di Uhi.

Proprietà	Oggetto	Misure Mitigazione	Politica/ Strumento	Settori Coinvolti
Privata	Edificio	Riflettanza e tipologia del tetto  Riflettanza delle pareti	Regolamento edilizio	Settore Edilizia Privata
	Spazio aperto	Estensione e tipologia spazi aperti	Regolamento edilizio Informazione/ formazione Regolamentazione ente gestore servizi idrici	Settore Edilizia privata  Settore Ambiente
	Alberature	Manutenzione Esistente  Nuove piantumazioni	Regolamento edilizio, piano del verde  Informazione/ formazione	Settore Edilizia privata  Settore Ambiente

### Riferimenti bibliografici

- Aymonino C. (2009), *Origine e sviluppo della città moderna*, Marsilio, Padova.
- Bellomo A. (2003), *Pareti verdi*, Sistemi Editoriali, Napoli.
- Berdahl P., Bretz S.E. (1997), "Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials", *Energy and Buildings*, 25.2: 149-158.
- Berkes F, Colding J., Folkes C. (eds.) (2003), *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bonafè G. (2006), *Microclima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione*, Area Meteorologica Ambientale, Servizio IdroMeteorologico, ARPA, Emilia Romagna.
- Corboz A. (1998), *Ordine sparso. Saggi sull'arte, il metodo, la città e il territorio*, FrancoAngeli, Roma.
- D'Albergo E., Lefevre C. (2007), *Le Strategie Internazionali delle Città*, il Mulino, Bologna.
- De Sherbinin A., Schiller A., Pulsipher A. (2007), "The vulnerability of Global Cities to Climate Hazards", in *Environment and Urbanization*, New York.
- Dina A. (2011), *Isole di calore urbane: contributi antropogenici e valutazione annuale*, Università degli Studi di Padova, Padova.
- Emanuel K. (2007), *What we know about climate change*, The MIT Press/Boston Review Books, Boston.
- Folke C., Carpenter S., Elmqvist T., Gunderson L., Holling C.S., Walker B. (2002), "Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations", *Ambio*, 31(5): 437-440.

- Graci G., Pileri P., Sedazzari M. (2008), *Gis e Ambiente. Guida all'uso di ArcGis per l'analisi del territorio e la valutazione dell'ambiente*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Gunter G. (2012), "Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing", *Meteorologische Zeitschrift*, 21(2): 173-181.
- Holling C.S. (1973), "Resilience and stability of ecological systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 1-23.
- Iacomussi P., Rossi G. (2010), *Proprietà ottiche e termiche dei manti stradali e condizioni di applicazioni nell'illuminotecnica e nell'analisi dell'isola di calore urbana*, ENEA, Roma.
- Ippc (2013), *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Magni F., Lucchitta B. (2013), "Approccio olistico e integrato come orizzonte per la pianificazione resiliente", in Sbeti F., Rossi F., Talia M., Trillo C. (a cura di), *Città come motore di sviluppo del paese*, Urbanistica Informazioni on line, Roma.
- Musco F. (2009), *Rigenerazione urbana e sostenibilità*, FrancoAngeli, Milano.
- Musco F., Patassini D. (2012), "Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici: valutazioni di efficacia di piani epolitiche in Usa, in Europa e in Italia", in Pierobon A., *Nuovo manuale di diritto e gestione dell'ambiente*, Maggioli, Rimini.
- Oke T.R. (1981), "Canyon geometry and the nocturnal Urban Heat Island", *Int. J. Climatol.*, 10: 237-245.
- Oke T.R. (2006), *Initial Guidance to obtain Representative meteorological observations at urban sites*, World Meteorological Organization, Ginevra.
- Papadopoulos A. (2001), "The influence of street canyons on the cooling loads of buildings and the performance of air conditioning systems", *Energy and Buildings*, 33.
- Stone B. Jr. (2005), "Urban Heat and Air Pollution: An Emerging Role for Planners in the Climate Change Debate", *Journal of the American Planning Association*, 71(1): 13-25.
- Stone B. Jr., Rodgers M. (2001), "Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effect", *Journal of the American Planning Association*, 67(2): 186-198.
- Unger J. (2004), "Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach", *Climate Research*, 27: 253-264.
- Unger J. (2009), "Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database", *Int. J. Environment and Pollution*, 36(1/2/3).
- Walker B., Salt D. (2006), *Resilience Thinking*, Island Press, London.
- Wheeler S. (2008), "State and Municipal Climate Change Plans: The First Generation", *Journal of the American Planning Association*, 74(4): 481-496.