



Politecnico di Milano
Scuola di Ingegneria Edile – Architettura
Laurea magistrale in Ingegneria dei sistemi edilizi

Tesi di laurea

CITTA' RESILIENTE E ISOLA DI CALORE URBANA: LE AREE VERDI DI
PIAZZA ASPROMONTE A MILANO

Relatore:
Prof.ssa Fulvia Pinto

Laureando:
Ferdinando Caputo
N° matr 771448

Anno accademico 2013 - 2014

SOMMARIO

ABSTRACT	VIII
1. INTRODUZIONE	1
2. LA PIANIFICAZIONE URBANA	2
2.1. SVILUPPO SOSTENIBILE	2
2.1.1. <i>TAPPE FONDAMENTALI A LIVELLO EUROPEO</i>	3
2.1.2. <i>LINEE GUIDA DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE</i>	4
2.2. LO SVILUPPO SOSTENIBILE NEL CONTESTO URBANO	5
2.2.1. <i>APPLICAZIONE DI UNA SOSTENIBILITÀ URBANISTICA</i>	7
2.3. IL CONCETTO DI RESILIENZA	8
2.3.1. <i>LA CITTÀ RESILIENTE</i>	9
2.3.2. <i>ADATTAMENTO E PLANIFICAZIONE</i>	10
2.3.3. <i>IL RUOLO DELLA CITTÀ</i>	10
2.3.4. <i>LA MISURA DELLA RESILIENZA URBANA</i>	11
3. L'ISOLA DI CALORE URBANA	15
3.1. TREND DI URBANIZZAZIONE	15
3.2. INTERAZIONE TRA SUOLO E ATMOSFERA	17
3.2.1. <i>BILANCIO ENERGETICO SUPERFICIALE</i>	19
3.3. TIPOLOGIE DI ISOLE DI CALORE	20
3.4. CAUSE E FATTORI PREDOMINANTI	20
3.4.1. <i>LA MORFOLOGIA DELLA CITTÀ</i>	21
3.4.2. <i>I CANYON URBANI</i>	21
3.4.3. <i>L'INFLUENZA DEL VENTO</i>	24
3.4.4. <i>CONCLUSIONI</i>	26
3.5. LE CONSEGUENZE	29
3.6. MITIGAZIONE: SU COSA AGIRE	31
3.6.1. <i>ALBEDO</i>	31
3.6.2. <i>AREE VERDI</i>	33
3.6.3. <i>CARICHI ANTROPOGENICI</i>	33
3.6.4. <i>I MATERIALI</i>	34
3.6.5. <i>ROOFS</i>	36
3.6.6. <i>PAVEMENTS</i>	38
3.6.7. <i>CONCLUSIONI</i>	39
3.7. L'ADATTAMENTO DELLA CITTÀ	40
3.7.1. <i>POLITICHE DI ADATTAMENTO</i>	40
4. CASI DI STUDIO	43
4.1. RILEVAMENTO DELL'ISOLA DI CALORE A MODENA	43
4.1.1. <i>I DATI OTTENUTI</i>	44
4.1.2. <i>CONCLUSIONI</i>	46
4.2. UN'AREA URBANA DI PICCOLE DIMENSIONI: NONANTOLA	46
4.2.1. <i>MODALITÀ DI RACCOLTA DATI</i>	47
4.2.2. <i>RISULTATI E DATI RACCOLTI</i>	47



4.2.3.	<i>CONCLUSIONI</i>	51
5.	<u>LA VEGETAZIONE COME STRUMENTO DI MITIGAZIONE</u>	52
5.1.	I PARCHI	53
5.2.	IL CASO DI FIRENZE	54
5.2.1.	<i>METODOLOGIA DI LAVORO</i>	55
5.2.2.	<i>RISULTATI E CONSIDERAZIONI</i>	56
5.2.3.	<i>RELAZIONI TRA TEMPERATURA E ALTRE VARIABILI</i>	59
5.2.1.	<i>CONCLUSIONI</i>	62
5.3.	IL CASO DI GOTEBOG, SVEZIA	62
5.3.1.	<i>ESTENSIONE DEL PARCO</i>	66
5.3.2.	<i>IL RAFFRESCAMENTO AL DI FUORI DEI CONFINI</i>	67
5.3.3.	<i>L'INFLUENZA DELLO SVF (SKY VIEW FACTOR)</i>	67
6.	<u>LA SIMULAZIONE COME STRUMENTO DI MITIGAZIONE</u>	68
6.1.	RAYMAN	68
6.2.	SOLWEIG	69
6.3.	ENVI-MET	69
7.	<u>ENVI-MET: STRUTTURA E CARATTERISTICHE</u>	71
7.1.	STRUTTURA DEL SOFTWARE	71
7.1.1.	<i>INPUT</i>	72
7.1.2.	<i>L'INTERFACCIA DI SIMULAZIONE</i>	73
7.1.3.	<i>OUTPUT</i>	73
7.2.	LETTURA DEI RISULTATI	74
7.2.1.	<i>ATMOSPHERE</i>	74
7.2.2.	<i>INFLOW</i>	75
7.2.3.	<i>RECEPTORS</i>	75
7.2.4.	<i>SOIL</i>	76
7.2.5.	<i>SURFACE</i>	76
7.3.	L'INTERFACCIA DI LETTURA	76
7.3.1.	<i>LEONARDO</i>	76
7.3.1.1.	<i>DATA</i>	77
7.3.1.2.	<i>VECTOR</i>	77
7.3.1.3.	<i>SPECIAL</i>	77
7.3.1.4.	<i>ISOLINE</i>	77
7.3.2.	<i>XTRACT</i>	78
7.4.	I LIMITI DEL SOFTWARE	78
8.	<u>UN'APPLICAZIONE PRATICA: PIAZZA ASPROMONTE</u>	81
8.1.	AREA DI PROGETTO	81
8.1.1.	<i>LA MORFOLOGIA DELLA PIAZZA</i>	82
8.1.2.	<i>I MATERIALI</i>	83
8.1.3.	<i>I CARICHI ANTROPOGENICI</i>	83
8.2.	LA SIMULAZIONE: DATI E IPOTESI	84
8.3.	RISULTATI OTTENUTI	87
8.3.1.	<i>LA TEMPERATURA POTENZIALE</i>	87
8.3.2.	<i>LA TEMPERATURA MEDIA RADIANTE</i>	92



8.4. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE	95
9. <u>CONCLUSIONI</u>	<u>96</u>
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>99</u>



INDICE DELLE IMMAGINI

Figura 2.1 - Le dimensioni dello sviluppo sostenibile	4
Figura 2.2 - Vulnerabilità dei paesi nel mondo	12
Figura 2.3 - Grafico vulnerabilità-disponibilità dei paesi	13
Figura 2.5 - Qualità dei paesi in base alla posizione nel grafico	14
Figura 3.1 - L'isola di calore urbana	15
Figura 3.2 - Proiezioni della popolazione urbana	16
Figura 3.3 - La struttura dell'isola di calore	17
Figura 3.4 - Le tipologie di isole di calore	18
Figura 3.5 - Evoluzione diurna della struttura dello strato limite atmosferico	19
Figura 3.6 - Schema canyon urbano, Nunez e Oke, 1977	22
Figura 3.7 - Sky view factory, valori in base alla morfologia della città	23
Figura 3.8 - Il fattore di vista in base al tipo di struttura nelle varie città	23
Figura 3.9 - Profilo logaritmico del vento proposto da Stull nel 1988	24
Figura 3.10 - Profilo del vento in condizione stabile, neutra e instabile proposta da Stull, 1988	24
Figura 3.11 - Substrati dello strato limite urbano, proposto da Rotach, 2003	25
Figura 3.12 - Profilo del vento in funzione dell'altezza degli edifici	26
Figura 3.13 - Zone climatiche urbane secondo Oke (2006)	27
Figura 3.14 - Parametri che descrivono le proprietà di copertura e di strutture tridimensionale delle superfici urbane (Beklanov)	28
Figura 3.15 - Variazione giornaliera della temperatura dell'aria in area urbana e in area rurale	29
Figura 3.16 - Profili termici notturni nell'isola di calore urbana e nell'area rurale circostante	30
Figura 3.17 - Valori di albedo nel contesto urbano e extra urbano	32
Figura 3.18 - Valori di albedo di alcune tipologie di materiali	32
Figura 3.19 - Foto termica di una strada con manto in asfalto	35
Figura 3.20 - Proprietà riflettenti dei tetti	37
Figura 4.1 - La città di Modena nella cartina geografica	44
Figura 4.2 - Differenze di temperature tra centro città e zona rurale	45
Figura 4.3 - Differenza di temperatura tra Modena e Albareto tra il 2004 e il 2005	45
Figura 4.4 Differenza di umidità relativa tra Modena e Alboreto	46
Figura 4.5 Posizione geografica di Nonantola	46
Figura 4.6 - Posizione del termo-igrometro su un lato dell'abbazia	47
Figura 4.7 - Andamento medio della temperatura apparente	48
Figura 4.8 - Andamento medio dell'indice di Thom	49
Figura 4.9 - Andamento medio della temperatura	49
Figura 4.10 - Andamento medio dell'umidità relativa	50
Figura 5.1 - Andamento della temperatura e della piovosità a Firenze	54
Figura 5.2 - Andamento della temperatura media giornaliera registrata in stazioni poste nelle diverse fasce	57

Figura 5.3 - Andamento della temperatura media giornaliera registrata in stazioni poste nei tre ambienti appartenenti alla stessa fascia	59
Figura 5.4 - 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	60
Figura 5.5 - 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 mattina (dalle 4 alle 10) nei giorni sereni senza vento	61
Figura 5.6 - Parchi oggetto di studio	63
Figura 5.7 - Punti di misurazione nei parchi di Gubberoparken e Vasaparken	64
Figura 5.8 - Punti di misurazione nel parco di Slottsskogen	65
Figura 5.9 - Dati relativi alle misurazioni effettuate nei parchi di Slottsskogen e Vasaparken	66
Figura 5.10 - Evidenziato il massimo delta di temperatura dei tre parchi presi come oggetto di studio	66
Figura 5.11 - Legame tra SVF e delta T°	67
Figura 7.1 - Struttura generale del software	72
Figura 8.1 - La posizione di P. Aspromonte a Milano	81
Figura 8.2 - Una vista dall'alto della piazza	82
Figura 8.3 - Particolare di P. Aspromonte	83
Figura 8.4 - Raffronto tra le temperature del centro città (Brera) e la zona periferica di Milano (Lambrate)	85
Figura 8.5 - Modello creato con il software Envi-met	86



INDICE DELLE TAVOLE

Tavola 1 – Distribuzione della temperatura potenziale alle ore 9:00 in Piazza Aspromonte	89
Tavola 2 – Distribuzione della temperatura potenziale alle ore 13:00 in Piazza Aspromonte	90
Tavola 3 – Distribuzione della temperatura potenziale alle ore 00:00 in Piazza Aspromonte	91
Tavola 4 - Distribuzione della temperatura media radiante alle ore 13:00 in Piazza Aspromonte	93
Tavola 5 - Distribuzione della temperatura media radiante alle ore 00:00 in Piazza Aspromonte	94



ABSTRACT

Il ruolo della pianificazione urbana è quello di rendere la città un ambiente confortevole e pragmatico allo stesso tempo. Non sempre questo risulta possibile, anche a causa dei diversi tipi di problemi nel contesto urbano.

Uno di questi è il fenomeno dell'isola di calore, un aumento della temperatura spesso notevole che si manifesta soprattutto d'estate, quando il salto termico tra giorno e notte è molto ridotto. Questo naturalmente produce effetti negativi e dannosi sulla stessa città, come l'utilizzo diffuso di impianti di condizionamento che portano ad un ulteriore produzione di energia e calore.

La pianificazione ha quindi il dovere di cercare delle soluzioni per risolvere un problema che, soprattutto nelle grandi città, è diventato di grande importanza. Molti studi hanno dimostrato il ruolo benefico della vegetazione per mitigare la temperatura all'interno di un agglomerato urbano, una soluzione sicuramente di facile approccio e anche relativamente economica rispetto ad altri tipi di soluzioni.

Questo lavoro di tesi prende in considerazione proprio questo tipo di soluzione, dopo aver analizzato a fondo il problema e aver studiato quali sono le cause e le conseguenze del problema.

Il fine ultimo è quello di dimostrare l'effettivo apporto benefico della vegetazione attraverso uno strumento informatico, un software che permette di simulare il comportamento microclimatico di determinate zone e quindi di studiare l'andamento della temperatura durante l'arco di una giornata.

È stata scelta Piazza Aspromonte a Milano (zona Loreto) e per trarre delle conclusioni sono state studiate le mappe cromatiche che riguardano la temperatura potenziale e la temperatura media radiante, che mostrano con grande semplicità come e quanto influisce la vegetazione all'interno del contesto urbano preso in considerazione.



Ringraziamenti

“Non importa quante difficoltà il cammino presenta, non importa se fai delle soste durante il percorso, ciò che veramente è importante è la forza che ognuno di noi ha dentro di sé.

Che ti spinge a non arrenderti mai, che ti fa prendere fiato piuttosto che fermarti e piangerti addosso o fasciarti la testa prima di romperla, che permette di restare sempre se stessi senza lasciarsi abbagliare dalle tante circostanze intorno a noi, sapendo distinguere sempre la realtà dalle illusioni, le vere amicizie da quelle momentanee e senza un interesse concreto, i veri amori spesso non perfetti, perché la perfezione non esiste ma si crea insieme all'altro giorno dopo giorno, da quelli impossibili, immaginari e solo idealizzati!

Che ti fa cogliere una speranza dove tutto sembra oscuro che ti permette di danzare nella tempesta e di scoprire ogni giorno la bellezza di tutti gli attimi che formano il film della tua vita dove l'unico regista sei solo tu!”

Un doveroso ringraziamento alla Prof. Pinto, sempre gentile e disponibile, anche nei momenti di difficoltà.

A mia madre, mia prima fan e sostenitrice innamorata,
a mia sorella, sempre pronta ad incoraggiarmi facendomi sentire forte,
a mio padre, un buono con la corazza da sergente di ferro,
agli amici di una vita, i fratelli che ti scegli,
a tutti quelli che la vita ti fa incontrare con qualche anno in più, ma che pensi che ci siano da sempre,
ai miei compagni di università, nessuno come loro sa quante difficoltà ci siano in questo percorso,
a mio nonno, la figura da cui forse è partito tutto.

A Te, amore mio, che mi hai fatto capire che l'amore (quello vero) ha mille sfaccettature, che anche la peggiore tempesta prima o poi finisce, perché Noi vogliamo farla finire, a Te che semplicemente mi fai brillare gli occhi, a Te perché te più me fa Noi, sempre.



1. Introduzione

Studiare gli effetti dell'isola di calore in una città come Milano non significa solo analizzare numericamente quelli che sono i valori di temperatura in una particolare zona urbana, ma significa anche studiare ed analizzare una pianificazione spesso disorganizzata e mal gestita, che poco fa verso problemi di questo tipo: capire le cause, le conseguenze e i fattori che provocano il problema devono aiutare a comprendere le modalità con cui intervenire per risolvere o quantomeno mitigare il riscaldamento urbano.

Come sarà dettagliatamente spiegato più avanti nel corso del lavoro di tesi, l'isola di calore è l'innalzamento della temperatura nella parte centrale della città (quella parte più edificata) rispetto alle zone periferiche o rurali, a causa di una serie di fattori: l'uso, o meglio l'abuso di materiali in grado di accumulare troppo calore durante il giorno e rilasciarlo durante la notte rendendo molto basso il salto di temperatura tra giorno e notte, la morfologia della città, i carichi esterni.

Tali effetti sono riscontrabili in inverno ma soprattutto in estate, portando a situazioni di discomfort in diverse città, e portano ad un uso massiccio degli impianti di condizionamento che però altro non fanno che aumentare il consumo energetico e di conseguenza la temperatura.

Diventa quindi indispensabile una buona pianificazione per cercare di ridurre il problema, e tra le varie soluzioni che stanno prendendo piede quella di mitigare il calore con delle zone verdi (parchi, giardini, verde pubblico) appare sicuramente di facile realizzazione e abbastanza economico.

Il verde, infatti, oltre a portare zone d'ombra, ha un effetto mitigante a causa dei processi di evapotraspirazione delle piante, che sottraggono calore all'aria per utilizzarlo per i processi vitali.

Questo lavoro di tesi, dopo aver analizzato cause, conseguenze, effetti e possibili tecniche di mitigazione, studia un caso pratico all'interno della città di Milano con l'intento di dimostrare il beneficio che porta un'area verde in una zona urbana.

Per riuscire in questo obiettivo è stato fondamentale l'uso di un software, Envi-met, in grado di simulare il comportamento micro-ambientale delle zone urbane oggetto dell'analisi.

Sviluppato all'interno dell'università tedesca, è ritenuto uno strumento abbastanza preciso, e nel corso degli anni ha dimostrato la sua attendibilità nella simulazione degli effetti della vegetazione in un contesto urbano.

2. La pianificazione urbana

Il tema della pianificazione urbana è sempre stato, fin dalla nascita dei primi insediamenti da parte dell'uomo, una disciplina varia e molto complessa: questo perché abbraccia diverse dimensioni, da quella ambientale, passando per quella economica fino a quella sociale.

L'urbanistica viene, infatti, definita dal DPR 616/77 "la disciplina dell'uso del territorio, comprensiva di tutti gli aspetti conoscitivi, normativi e della gestione riguardanti le operazioni di tutela e di trasformazione del suolo, nonché la protezione dell'ambiente": è quindi di fondamentale importanza per migliorare le condizioni di esistenza e lavoro dei cittadini, per assicurare un ordinato svolgimento della vita sociale della collettività tutta, attraverso tutti quegli elementi che costituiscono le componenti essenziali del vivere civile.

È facile capire come sia necessario che tale disciplina vada di pari passo con l'uomo in modo tale da essere sempre in grado di sostenere lo sviluppo che quest'ultimo comporta: studiare il territorio antropizzato e quindi l'insediamento umano per progettare e pianificare il tutto nel migliore dei modi.

2.1. Sviluppo sostenibile

Il concetto di sviluppo sostenibile risale a circa 40 anni fa e più precisamente nel 1973 quando scoppia il conflitto tra Israele e Paesi arabi, che per cercare appoggio da parte dell'Europa e degli Stati Uniti decisero di diminuire l'esportazione di petrolio e contemporaneamente di aumentarne il prezzo. Molti paesi quindi si ritrovarono in una grave situazione finanziaria a causa del crescente costo dell'energia e l'inflazione presto fece da padrone al panorama europeo.

Vennero subito adottate politiche di austerità per contrastare il fenomeno, in modo da limitare e diminuire il consumo di energia. Era opinione diffusa pensare che solo questa manovra non sarebbe bastata. La "crisi petrolifera" (così fu chiamata) portò il mondo occidentale a riflettere a fondo su quello che sarebbe diventato presto un problema di livello mondiale: l'uso delle fonti rinnovabili per sopperire alla mancanza dei combustibili fossili come il petrolio. Già un anno prima della crisi fu pubblicato "Il rapporto sul limite dello sviluppo", commissionato dal MIT (Massachusetts Institute of Technology, una delle più importanti università di ricerca del mondo, con sede a Cambridge, nel Massachusetts), in cui veniva simulata un'ipotetica (non troppo) situazione in cui si assumevano le interazioni tra popolazioni mondiali, l'industrializzazione, l'inquinamento, la produzione alimentare e il consumo di risorse in una crescita esponenziale con il tempo.

Questo rapporto volle sottolineare come la crescita produttiva avrebbe portato al consumo ed all'esaurimento di tutte le risorse energetiche e ambientali in un lasso di tempo stimato in 100 anni, con conseguente declino improvviso ed incontrollabile della popolazione e della capacità industriale: da qui l'idea di uno sviluppo che per forza di cose non prevedesse l'annullamento di tutte le risorse ma che al contrario le rendesse disponibili anche per il futuro.

Nel 1972 si tenne a Stoccolma la Conferenza ONU sull'Ambiente Umano, che rappresentò la prima tappa in campo internazionale di un lungo percorso per risolvere i problemi legati al massiccio sfruttamento delle risorse a livello mondiale. Nonostante si parli già di sviluppo sostenibile, la definizione viene data solo nel 1987 con il Rapporto Brundtland: "lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni".

2.1.1. *Tappe fondamentali a livello europeo*

Come già detto in precedenza, è nel 1972 che si tiene la prima conferenza sui problemi legati allo sviluppo sostenibile: di seguito vengono riportate tutte le tappe fondamentali a livello europeo che hanno contribuito alla risoluzione di problematiche riguardanti il consumo delle risorse.

- Conferenza ONU sull'Ambiente Umano, Stoccolma 1972;
- IUCN (International Union for Conservation of Nature), Strategia Mondiale per la Conservazione, 1980;
- Viene istituita la Commissione Mondiale su Sviluppo e Ambiente, 1983;
- Rapporto Brundtland, 1987;
- Conferenza ONU su Ambiente e Sviluppo, Rio de Janeiro, 1992, da cui nascono due iniziative importanti:
 1. Programma d'azione Agenda 21
 2. Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici
- Piano Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile, Italia 1993;
- 1° Conferenza Europea sulle Città Sostenibili, Aalborg 1994, dove viene approvata la "Carta di Aalborg" (Carta delle città europee per uno sviluppo durevole e sostenibile);
- 2° Conferenza Europea sulle Città Sostenibili, Lisbona 1996;
- 3° Conferenza Europea sulle Città Sostenibili, Hannover 2000, dove viene approvato dai partecipanti il "Piano d'azione di Lisbona: dalla Carta all'azione";
- VI Piano d'Azione Ambientale 2002/2010, Unione Europea 2001;
- Vertice Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile, Johannesburg 2002;
- Aalborg +10, IV Conferenza europea sulle città sostenibili, Aalborg 2004;
- Consiglio Europeo, Lussemburgo 22 e 23 marzo 2005;
- Strategia europea per lo sviluppo sostenibile, Bruxelles 2006;
- V Conferenza europea sulle Città sostenibili, Siviglia 2007;
- 15esima Conferenza delle Nazioni Unite dedicata al clima, Copenhagen 2009.

Nel 2005 inoltre l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha proclamato il DESS – Decennio dell'Educazione allo Sviluppo Sostenibile per il periodo 2005-2014 - affidando all'UNESCO il compito di coordinarne e promuoverne le attività. Questo programma ha come scopo quello di sensibilizzare i governi e le società civili di tutto il mondo verso "la necessità di un futuro più equo ed armonioso, rispettoso del prossimo e

delle risorse del pianeta, valorizzando il ruolo che in tale percorso è rivestito dall'educazione" da intendersi "in senso ampio, come istruzione, formazione, informazione e sensibilizzazione", declinabile quindi non solo in educazione scolastica ma anche in campagne informative, formazione professionale, attività del tempo libero, messaggi dei media e del mondo artistico e culturale.

2.1.2. *Linee guida dello sviluppo sostenibile*

Lo sviluppo sostenibile quindi comincia a prendere piede quando ci si accorge, quasi forzatamente, che è necessario non solo preservare il benessere delle generazioni attuali ma soprattutto non compromettere quelle future a causa di politiche irrazionali e dannose. Vengono posti quindi degli obiettivi: benessere, abbondanza di risorse, razionalità dell'organizzazione, giustizia e pace nella società.

Ma spesso non tutti questi obiettivi possono essere raggiunti e si crea un netto divario tra chi possiede ricchezza da una parte e chi invece soffre povertà e disoccupazione. Ed è proprio la città il simbolo di questa contrapposizione: luogo capace di grandi trasformazioni ma che al contempo offre un grande degrado ambientale, dovuto a molteplici cause. Questa crisi sociale ed ecologica porta la società a porsi un interrogativo sul rapporto uomo-società e uomo-ambiente: come può evolversi?

Per far sì che la sostenibilità funzioni davvero deve essere studiata e affrontata su 4 livelli diversi:

- livello metastrategico: riflessioni sui principi generali per lo sviluppo di una società ("perché" cambiare);
- livello strategico: scelta di cosa una società vuol diventare (obiettivi sul lungo periodo);
- livello tattico: ruolo dei vari attori (dall'imprenditore alle istituzioni, che hanno un ruolo chiave);
- livello gestionale/attuativo: gli strumenti per attuare e controllare la sostenibilità.

Le dimensioni interessate sono quindi diverse: economica, ambientale, e sociale. Il compito diventa trovare un giusto equilibrio tra queste.

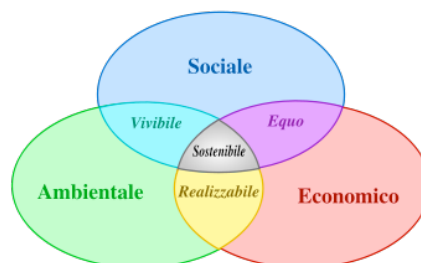


Figura 2.1 - Le dimensioni dello sviluppo sostenibile (Fonte: www.google.it)

Attività fondamentale per un corretto sviluppo sostenibile è il principio di valutazione, strumento necessario per passare dai principi generali della sostenibilità alla concreta realizzazione. Non sono necessarie solo valutazioni tecniche, quindi operate da specialisti, ma valutazioni aperte a tutti i cittadini: senza consenso popolare infatti questo percorso non è realizzabile (Conferenza di Istanbul). Da questa consapevolezza acquista maggior importanza l'informazione dei cittadini, delle imprese e di tutti i protagonisti interessati, mediante la diffusione di buone pratiche al fine di incentivare comportamenti sempre più rispettosi nei confronti della società e dell'ambiente.

Per far sì che le risorse naturali vengano usate in modo corretto e che esse siano salvaguardate e tutelate nel tempo è necessario seguire alcuni principi indispensabili: oltre a quelli già citati precedentemente risultano importanti:

- good governance: gestione efficiente dei servizi, equo accesso ad essi e reale collaborazione tra i diversi soggetti;
- cooperazione e solidarietà: principio inteso come sussidiarietà tra i vari livelli del governo;
- uso degli indicatori: verificano il grado di raggiungimento della sostenibilità e ne definiscono l'andamento temporale.

È evidente come questo argomento sia molto ampio e particolarmente delicato, quindi richiede tempo e la partecipazione di gran parte della società.

2.2. Lo sviluppo sostenibile nel contesto urbano

Il problema fondamentale per rendere operativi tutti gli aspetti dello sviluppo sostenibile in un contesto più ristretto come quello urbano è un nodo di attuale importanza: questo perché nel passare dal generale al particolare si incontrano sempre diverse difficoltà di applicazione e interazione.

Riprendendo il concetto di sostenibilità, cioè l'insieme di relazioni tra le attività umane, la loro dinamica e la biosfera (con le sue dinamiche, solitamente più lente), è necessario che le relazioni siano tali da garantire alla vita umana di continuare, agli individui di soddisfare i propri bisogni e alle diverse culture di svilupparsi liberamente.

Il contesto urbano viene preso in considerazione per la prima volta nel Programma d'azione Agenda 21 (Rio de Janeiro, 1992) in cui si delinea un piano d'azione per lo sviluppo sostenibile da realizzare su scale globale, nazionale e locale: pensare globalmente e agire localmente (capitolo 28).

Si riconosce quindi il ruolo decisivo delle comunità locali nell'attuare politiche di sviluppo sostenibile.

Una buona attività urbanistica è necessaria ma non sufficiente: si può occupare del contenimento del consumo del suolo, di soluzioni innovative tra sistemi artificiali e ambiente naturale ma non può modificare il comportamento e le abitudini dei cittadini, non può influire sulle dinamiche globali dei mercati e sulle scelte generali delle politiche ambientali. Diventa così di fondamentale importanza il coinvolgimento di tutte le realtà urbane, dal singolo cittadino sino alle più alte cariche politiche. Il compito

dell'urbanistica è quindi quello di trovare una nuova modalità di organizzazione dello spazio insediativo che garantisca quelli che vengono definiti i livelli minimi dello sviluppo sostenibile.

I livelli minimi sono:

1. garantire compatibilità tra vita dell'uomo ed ecosistema: componente ECOLOGICA
2. garantire la sopravvivenza del sistema antropico: componente TECNOLOGICA
3. assicurare il corretto inserimento delle nuove costruzioni nel territorio: componente MORFOLOGICA.

Le premesse per raggiungere la sostenibilità urbana sono:

- integrità dell'ambiente;
- buon funzionamento delle reti tecnologiche;
- buona qualità delle soluzioni spaziali.

L'urbanistica può e deve essere d'aiuto, può influire sulle dinamiche di trasformazioni dell'insediamento urbano solo se realizza progetti e interventi localizzati e limitati capaci di produrre effetti spaziali sulla struttura urbana.

Diventa il progetto quindi lo strumento fondamentale: esso deve essere in grado di abbracciare tutti gli aspetti sopracitati.

Componente ecologica: è necessario proporre nuove forme di organizzazione dello spazio insediativo contenendo però il consumo di suolo, riutilizzare il patrimonio edilizio preesistente, garantire la permeabilità del terreno e l'autosufficienza energetica dei sistemi residenziali.

Componente tecnologica: bisogna realizzare un sistema di mobilità alternativo ecosostenibile, garantire uno smaltimento differenziato dei rifiuti, tenere conto del carico totale sulle reti tecnologiche del suo incremento connesso alle nuove previsioni insediative.

Componente morfologica: "disegnare la città senza disegnare gli edifici" (Jonathan Barnett); quindi un progetto che comprenda spazi vuoti e aperti, che segua una coerenza formale dei nuovi insediamenti rispetto al paesaggio, che abbia corridoi ambientali che facciano entrare la natura della città e la città nella natura. Bisogna realizzare un ponte tra natura e città (Roberto Gambino).

A differenza dell'urbanistica moderna, mirata a programmi a lungo termine per una città fissandone le linee guida, quella odierna è più riflessiva, adatta ad una società più complessa come quella attuale. Elabora più progetti, cerca di renderli coerenti, di realizzarli, di prevedere eventuali influenze, evoluzioni e cambiamenti, è pronta a revisionare gli obiettivi se necessario. È più una "gestione strategica della città", che si confronta con le difficoltà crescenti di ridurre le incertezze di una società aperta, democratica e caratterizzata da violente accelerazioni della nuova economia.

Questo perché le città di oggi, spesso, non hanno una chiara organizzazione, una chiara ripartizione delle funzioni sociali o una chiara gerarchia delle parti: ci si trova dinanzi ad una vasta "mixité", in cui regnano l'ibridazione degli spazi e la confusa

sovrapposizione delle funzioni. E la conseguenza di questa situazione è un controllo della sostenibilità solo a grandi scale, con opere (infrastrutture e attrezzature) non inserite in un contesto ben preciso, ma progettate come elementi funzionali all'organizzazione territoriale.

La sfida a cui il governo per la sostenibilità va incontro è quella di un nuovo progetto i cui si ripensa e si rielabora la forma complessiva dell'insediamento urbano nel territorio, cercando di risolvere e di affrontare tutte le problematiche inerenti alla sostenibilità ambientale.

2.2.1. *Applicazione di una sostenibilità urbanistica*

Viene dunque spontanea la domanda su come agire e come affrontare il problema. Quali sono gli strumenti necessari? E quali realtà devono incontrarsi per far sì che tutti partecipino alla realizzazione di un contesto urbano ad alto livello di sostenibilità?

Non è più necessario il solo piano urbanistico tradizionale perché non riesce ad imprimere alla forma della città alcun senso compiuto; sono indispensabili interventi definiti, localizzati e progettati, solo così può essere modificata realmente la struttura urbana.

Cambia quindi il punto di vista del progetto: non più visto come il disegno della configurazione desiderata, ma “lo strumento con cui il processo di definizione, sviluppo e realizzazione dell'opera si fa carico delle potenzialità e dei vincoli che sono imposti dai luoghi, dagli attori, dalle circostanze e dagli avvenimenti”. Come già detto precedentemente il progetto deve andare oltre, non rimanere incatenato al campo dell'urbanistica, ha il compito e il dovere di allargare gli orizzonti di interesse a tutto il sistema di “governo del territorio” (termine che ha sostituito l'urbanistica nella riforma del titolo V della costituzione).

Allargare gli orizzonti significa non scindere dimensione urbana da quella territoriale: le ultime esperienze hanno dimostrato che sarebbe un errore gravissimo. Il progetto non può prescindere dal rapporto con le altre discipline che si occupano dello spazio fisico a grande scala nonché al governo delle trasformazioni.

Su tutti, due sono gli aspetti imprescindibili della progettazione dell'insediamento urbano:

- il governo del territorio
- il progetto dei luoghi.

In termini procedurali il governo del territorio deve farsi carico delle interconnessioni tra funzioni urbane, funzioni economiche e funzioni sociali, in modo che la dimensione dell'intero progetto sia non solo interistituzionale ma anche transcalare. Le indispensabili condizioni di metodo per la realizzazione di un'urbanistica sostenibile sono le seguenti:

- allargamento del quadro di coerenza ad una dimensione intercomunale;

- formulazione di opportuni accordi interistituzionali sui contenuti irrinunciabili della visione strategica;
- intervento per progetti localizzati e disegnati in compliance con la decisione assunte alle scale superiori.

In conclusione emerge come l'efficacia di un programma non dipenda solo ed esclusivamente dalla sua capacità propositiva, ma è fortemente connessa alla possibilità di essere sulla stessa lunghezza d'onda del contesto in cui viene realizzato lo stesso progetto e di apportare un contributo di operatività all'interno delle strategie di sistemi.

2.3. Il concetto di resilienza

Per capire meglio il concetto di resilienza è necessaria una visione d'insieme di quello che è il panorama nazionale e internazionale.

Le città e in generali molti paesi sono state invase negli ultimi anni (forse anche decenni) da una forte globalizzazione: i centri urbani sono sempre più dei sistemi dinamici, complessi, attivi e in completa evoluzione.

La globalizzazione però ha portato con sé un forte processo di urbanizzazione, una "migrazione" dalle campagne e dalle zone rurali a favore delle città; la conseguenza è stata un disequilibrio nella distribuzione delle ricchezze che ha aumentato gli slums e ha provocato un decremento della qualità della vita.

A questo squilibrio se n'è aggiunto un altro di tipo energetico: le città, infatti, consumano la maggior parte di energie e risorse disponibili all'interno di un territorio. E all'interno della stessa città sono nate forti contraddizioni, una tra tutte quella tra ricchezza e povertà.

Per agganciarsi a prospettive di futuro il territorio deve essere in grado di mettere in atto progetti e azioni innovative partendo dalle migliori risorse locali, cercando di mantenere una coesione sociale, economica e strutturale.

È in questo contesto che entra in gioco la resilienza, la capacità di un sistema (in questo caso la città) di tollerare un disturbo senza collassare in un stato qualitativo differente; concetto molto simile all'adattamento, la capacità di un organismo di modificare la propria struttura sociale e fisica per assicurare una buona qualità della vita e dell'ambiente, come reazione ai cambiamenti climatici che ne influenzano le condizioni, mettendo in pericolo il normale svolgersi della vita quotidiana.

Appare quindi quasi una conseguenza naturale che resilienza e sostenibilità debbano andare praticamente di pari passo, essere complementari, due facce della stessa medaglia che hanno il compito di assicurare uno sviluppo qualitativo e durevole nel tempo.

Storicamente il concetto ecologico di resilienza è stato pionieristicamente introdotto da Crawford Holling (primi anni 70), che la definì come "la capacità dei sistemi naturali di assorbire un disturbo e di riorganizzarsi mentre ha luogo il cambiamento, in modo tale da mantenere ancora le stesse funzioni, la stessa struttura, la stessa identità e gli stessi feedback". Secondo Holling il sistema ha quindi la possibilità di evolvere in stati

multipli, diversi da quello precedente al disturbo, garantendo comunque il mantenimento della vitalità delle funzioni e delle strutture del sistema stesso.

2.3.1. La città resiliente

Oggi per città resiliente si intende non una città che si adegua semplicemente, ma una realtà che cambia, modificandosi dal punto di vista sociale, economico e ambientale per resistere nel lungo periodo alle sollecitazioni dell'ambiente.

Tra queste quella relativa al cambiamento climatico merita un'attenzione particolare; il *global warming* è un argomento molto attuale soprattutto a livello urbano, dove gli effetti dell'isola di calore influenzano in maniera negativa il comfort e la salubrità della vita quotidiana.

Per realizzare una città resiliente (e quindi sostenibile) bisogna andare ad agire su due aspetti fondamentali, che richiedono un cambiamento di approccio e di cultura nella vita della città, nella gestione dei sistemi urbani e nelle loro strutture fisiche:

- ridurre vulnerabilità dei territori;
- gestire il comfort climatico per i cittadini, dovuto al cambiamento del microclima urbano (per esempio la maggiore percezione del calore).

Quindi è importante individuare degli specifici ambiti di intervento, in modo da conseguire quegli obiettivi che rendono la città resiliente al *climate change*:

- assicurare comfort climatico e qualità urbana nelle abitazioni e negli spazi pubblici;
- rendere coerenti e quindi efficaci gli interventi di adattamento e di mitigazione, moltiplicandone l'efficacia;
- cogliere nelle azioni di adattamento le opportunità per migliorare il governo dello sviluppo urbano sostenibile e l'uso responsabile delle risorse naturali;
- utilizzare la spinta al cambiamento per correggere meccanismi non sostenibili di sviluppo e rafforzare la coesione sociale, economica e strutturale.

Per raggiungere tutti questi scopi sono necessarie buone politiche di mitigazione (di cui si parlerà meglio nei prossimi capitoli) e di adattamento: soprattutto quest'ultima ha il compito di gestire gli impatti del cambiamento climatico a scala locale, in quanto il *climate change* e i problemi che da esso derivano hanno un impatto e delle conseguenze diverse da territorio a territorio, e necessitano di una risposta articolata e flessibile (che sarà diversa da contesto a contesto) in termini di:

- azioni di difesa;
- pianificazione urbanistica;
- organizzazione sociale.

Lo scopo è quello di favorire l'integrazione della pianificazione climatica locale delle diverse azioni di mitigazione e adattamento.

2.3.2. *Adattamento e pianificazione*

Come detto precedentemente l'adattamento non è altro che la capacità di aggiustamento dei sistemi naturali e umani in risposta a stimoli climatici in atto o prevedibili e dei loro effetti, che modera il danno o sfrutta le eventuali opportunità benefiche offerte dal cambiamento climatico.

Questo, insieme ai suoi effetti, sollecita in egual modo suolo, aria e acqua: le azioni mirate all'adattamento dovrebbe puntare su:

- limitazione dell'espansione urbana, riducendo così la dispersione insediativa (sprawl urbano);
- riuso delle aree produttive dismesse e bonificate;
- riqualificazione del patrimonio edilizio esistente (con l'aumento di albedo);
- orientamento dell'edificato più coerente con le condizioni microclimatiche presenti e con le dimensioni degli edifici (altezza-lunghezza) tenendo conto dell'esposizione solare, della ventosità e di altri fattori locali.

Il ruolo della pianificazione in termini di qualità ambientale è quello di stabilire, prima che il danno si produca, se una scelta insediativa farà un danno non accettabile ed escluderla dal piano, e se una scelta insediativa farà un danno accettabile, definendo nel piano le condizioni di intervento affinché il danno sia minimo o le modalità per mitigarne o compensarne gli effetti.

Di punto di vista morfologico la pianificazione influenza in maniera fondamentale la forma delle aree urbane, l'intensità/densità con cui il suolo viene sfruttato, ed è in grado di connettere la scala MACRO (città e quartieri) con la scala MICRO (i singoli edifici) in un'unica prospettiva.

2.3.3. *Il ruolo della città*

La città in relazione ai cambiamenti climatici svolge un ruolo di produzione di esternalità negative.

Produzione di esternalità al cambiamento climatico (RUOLO ATTIVO NEGATIVO)

- Come già detto la maggior parte dei consumi energetici (circa l'80%) avviene in città o è comunque direttamente connesso al suo funzionamento e dei relativi servizi (rapporto delle Nazioni Unite del 2004): messo in relazione con il costante aumento della popolazione in ambito urbano crescerà anche l'impatto delle aree urbane rispetto al cambiamento climatico.

Impatti del cambiamento climatico (RUOLO PASSIVO NEGATIVO)

- Le città naturalmente subiscono in modo diretto gli effetti dei cambiamenti climatici, come ad esempio l'innalzamento del livello del mare (che avrà influenza sui sistemi di pianificazione delle città portuali e costiere) oppure

l'intensificazione dei fenomeni atmosferici (che provocherà adattamenti nei sottoservizi delle aree urbane).

Produzione di soluzioni replicabili (RUOLO ATTIVO POSITIVO)

- Sicuramente il più importante: città e governi locali possono e devono svolgere il ruolo rilevante di laboratori di sperimentazione di nuove politiche per l'adattamento ai cambiamenti climatici. La scala urbana va indirizzata ad azioni di mitigation procedures (procedure di mitigazione) e adaptive capacity (capacità di adattamento).

2.3.4. *La misura della resilienza urbana*

Riprendendo il concetto espresso da Holling, la resilienza è misurata “dal grado di disturbo che può essere assorbito prima che il sistema cambi la sua struttura, mutando variabili e processi che ne controllano il comportamento”.

Molti studiosi (tra cui lo stesso Holling) riconoscono quattro caratteristiche fondamentali della resilienza:

1. *latitudine*: l'ammontare massimo in cui un sistema può cambiare senza perdere la propria abilità al recupero;
2. *resistenza*: la facilità o la difficoltà di cambiare il sistema o meglio quanto e come il sistema è complessivamente resistente rispetto al cambiamento;
3. *precarietà*: parametro che indica quanto sia vicino l'attuale stato di un sistema ad un limite o una soglia;
4. *panarchia*: termine coniato da un gruppo di studiosi della resilienza, viene utilizzato per ricordare che, a causa delle interazioni a diverse scale, la resilienza di un sistema ad una particolare scala dipenderà dalle influenze degli stati e delle dinamiche alla scale che hanno luogo al di sopra o al di sotto del sistema stesso.

Conoscere i limiti della resilienza è quindi fondamentale per capire lo stato di fatto di un dato sistema: la vulnerabilità è considerata il concetto opposto della resilienza. Un sistema viene definito vulnerabile quando perde le sue capacità di resilienza diventando vulnerabile al mutamento.

Oggi molti paesi e di conseguenza molte città sono alle prese con i cambiamenti climatici e con le relative tecniche di adattamento; alcuni però sono più vulnerabili di altri, a causa della posizione geografica e delle condizioni socio-economiche.

Per capire il grado di vulnerabilità e i relativi aspetti è stato creato l'INDICE GLOBALE DI ADATTAMENTO (global adaptation index): misura la disponibilità dei paesi a intraprendere azioni di adattamento per aumentare la propria resistenza ai cambiamenti climatici.

Naturalmente alcune nazioni sono più pronte ad affrontare questa sfida grazie all'azione di governo e ad una maggiore consapevolezza della comunità.

È stato anche formato un ISTITUTO DI ADATTAMENTO GLOBALE, un'organizzazione ambientale no-profit che si occupa di resilienza ai cambiamenti climatici come chiave per uno sviluppo sostenibile, soprattutto per i paesi in via di sviluppo. Oltre ai vari strumenti ne è stato proposto un altro, chiamato GAIN, che si propone di essere pragmatico, fruibile e orientato ad assicurare miglioramenti nella resistenza ai problemi legati al clima, mostrando su quale indicatore di vulnerabilità e di preparazione i paesi possono apportare miglioramenti per aumentare la loro resilienza.

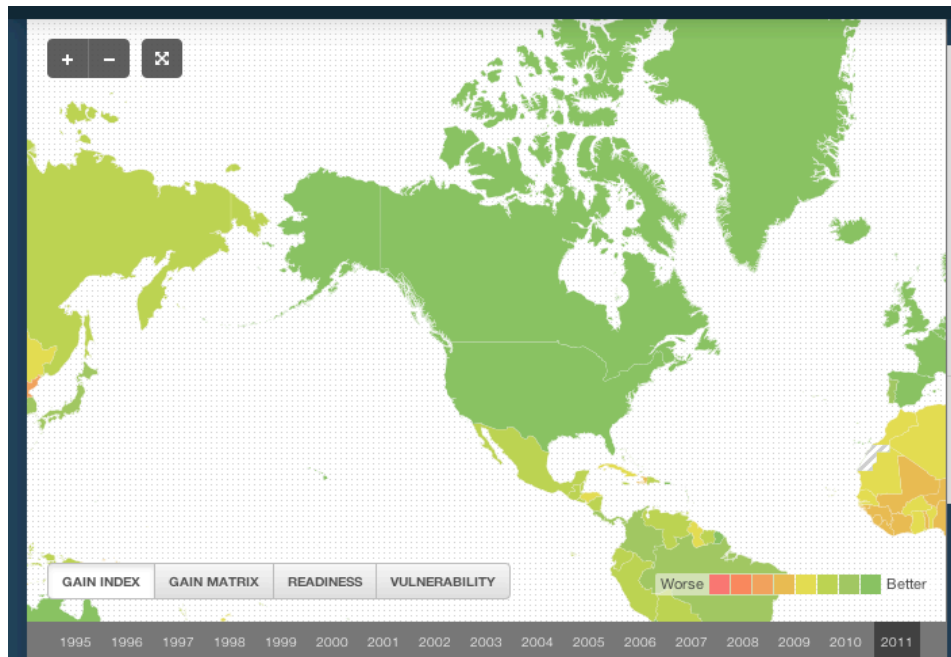


Figura 2.2 - Vulnerabilità dei paesi nel mondo (Fonte: www.gain.index.org)

Anche per questo strumento i due parametri presi in considerazione sono la vulnerabilità di un paese agli effetti del cambiamento climatico e ad altre tendenze globali e la disponibilità e prontezza degli stessi di implementare con successo soluzioni di adattamento.

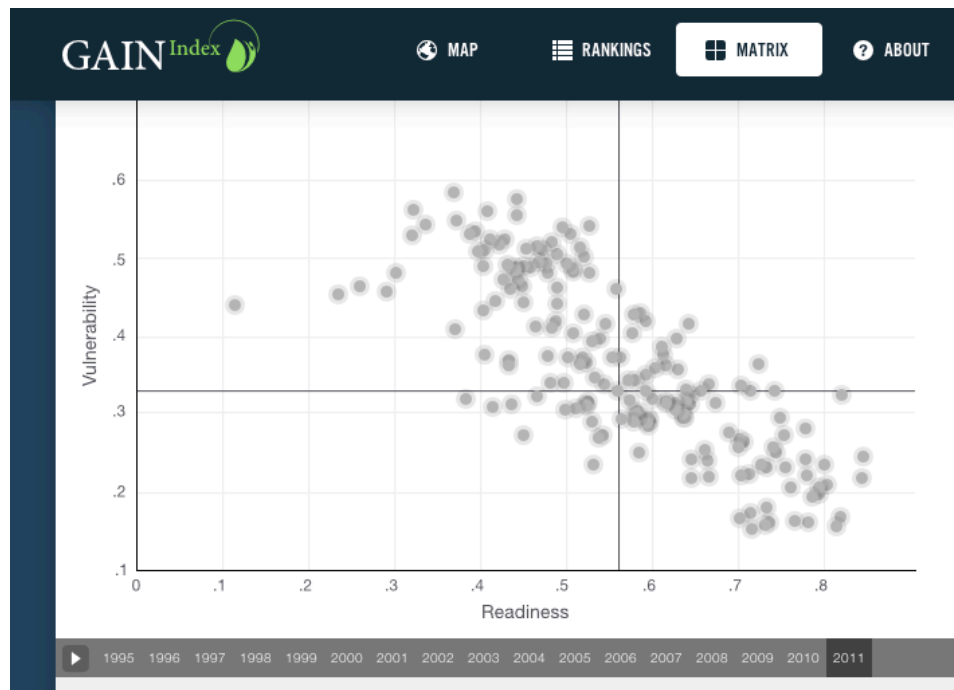


Figura 2.3 - Grafico vulnerabilità-disponibilità dei paesi (Fonte: www.index.gain.org)

Per mettere in relazione vulnerabilità e disponibilità è stato creato un grafico, chiamato MATRIX READINESS, in cui su un asse è presente la disponibilità e sull'altro la vulnerabilità.

Sull'asse di vulnerabilità viene mostrata l'esposizione ai rischi legati al clima, la sensibilità al loro impatto e la capacità di far fronte a tali impatti. Per misurare i tre settori fondamentali per il benessere umano (cibo, acqua e salute) vengono utilizzati 24 indicatori.

Sull'asse di disponibilità si misura la capacità di un paese di assorbire ulteriori risorse dal settore privato e di applicarle in modo efficace per aumentare la resilienza al cambiamento climatico e le altre forze globali. Per le tre categorie di preparazione (economia, società e governance) vengono usati 14 indicatori.

Come si vede dall'immagine, il grafico è stato diviso in 4 quadranti, con vulnerabilità e disponibilità crescenti dal basso verso l'alto e da sinistra verso destra.



Figura 2.4 - Matrix readiness (Fonte: www.index.gain.org)

Sul quadrante rosso, quello in alto a sinistra, saranno presenti paesi con un'alta vulnerabilità ai cambiamenti climatici ma con una bassa prontezza di risposta e reazione: è il caso di molte nazioni dell'Africa, dall'Eritrea al Sudan, passando per il Camerun.

Nel quadrante blu invece sono presenti paesi con alta vulnerabilità ma pronti al cambiamento, come la Mongolia, l'Albania, la Giamaica e il Perù.

Il quadrante giallo è caratterizzato da paesi che non risentono di forti cambiamenti climatici e che non sono pronti a grossi investimenti. Sono per esempio il Venezuela, la Cina e l'Egitto.

Nell'ultimo quadrante, quello verde, paesi come l'Italia, il Belgio, l'Austria e il Portogallo sono molto vulnerabili ma pronti ed aperti a investimenti importanti per aumentare la propria resilienza.

Red, or Upper Left Quadrant



A country with a high vulnerability to climate change, but a low level of readiness, has both a great need for investment and innovations to improve readiness and a great urgency for action. Unless the government, international organizations and the private sector move quickly to improve the ability to adapt, significant human suffering will result. Initially this country is more likely to receive investment from the government or NGOs than from the private sector seeking financial returns.

Yellow, or Lower Left Quadrant



Countries that are not highly vulnerable, even if not ready for investment. These countries will have time to prepare. While private investment towards adaptation will be low, fewer people should be at risk.

Blue, or Upper Right Quadrant



Countries in this quadrant are highly vulnerable but are ready to accept adaptation investment. There is strong urgency to act and the private sector is more likely to invest in adaptation relative to the red or yellow quadrants.

Green, or Lower Right Quadrant



These countries have both low vulnerability and are ready and open for investments. Significant investments in resilience must take place, but comparatively, these countries' challenges are less urgent.

Figura 2.5 - Qualità dei paesi in base alla posizione nel grafico (Fonte: www.index.gain.org)

3. L'isola di calore urbana

Una delle conseguenze più importanti e di maggior rilievo negli ultimi anni nel panorama europeo e mondiale è senza dubbio quella della formazione dell'isola di calore nei centri urbani, soprattutto nelle città a grande concentrazione abitativa.

L'isola di calore è definita come la differenza di temperatura, solitamente tra 2°C e 7°C durante la notte e tra 1°C e 3°C durante il giorno, che si viene a creare tra l'ambiente urbano e quello circostante (meno urbanizzato, come ad esempio campagne e periferie). Questa delta di temperatura è dovuto agli effetti e all'influenza che l'urbanizzazione e l'uomo hanno sul microclima urbano: la struttura della città infatti può alterare le condizioni climatiche all'interno del centro abitato. Questo incremento di temperatura è riscontrabile sia nelle stagioni fredde (inverno ed autunno) che in quelle calde (estate e primavera) e porta per lo più effetti negativi e preoccupanti situazioni di pericolo.

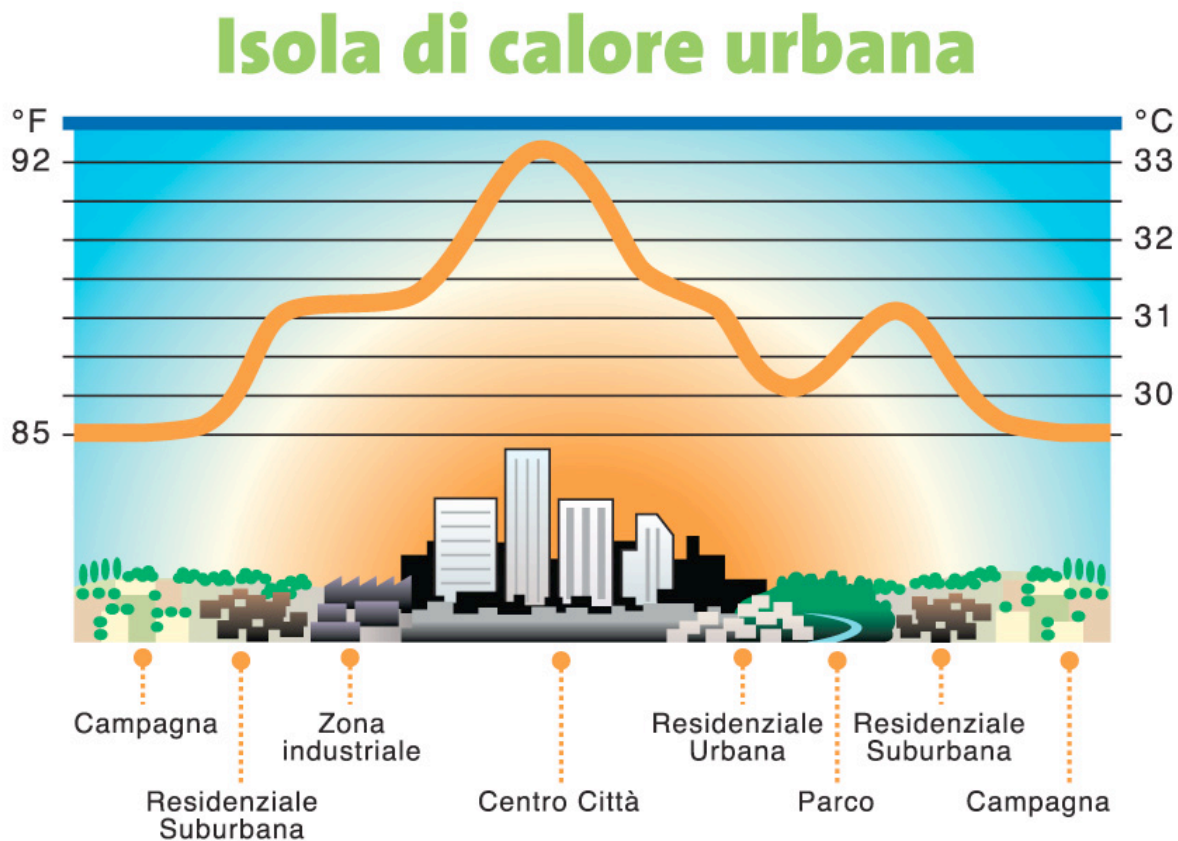


Figura 3.1 - L'isola di calore urbana (Fonte: www.google.it)

3.1. Trend di urbanizzazione

Le problematiche relative all'isola di calore sono molteplici se viste in un'ottica ben più ampia del solo aumento della temperatura. Da sempre, infatti, il benessere e la qualità della vita dell'uomo dipendono dalle condizioni dell'ambiente in cui si vive: il concetto

di Salute ambientale è definito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-OMS) ed è inteso come "equilibrio ecologico che deve esistere tra l'uomo e il suo ambiente in modo da assicurarne il benessere, che si riferisce all'individuo come entità globale, e ne comporta non solo la salute fisica ma anche quella mentale, e le relazioni sociali ottimali all'interno del suo ambiente".

Come detto precedentemente il fenomeno riguarda soprattutto le aree maggiormente edificate, quindi metropoli e grandi città. Diventa quindi obbligatorio aprire una piccola parentesi sull'andamento dell'urbanizzazione nell'ultimo secolo per capire perché è necessario affrontare il dibattito in modo serio e concreto.

Negli ultimi anni i numeri riguardanti l'inurbamento sono andati sempre in una sola direzione, quella della crescita rapida e forse inarrestabile.

Come si vede dal grafico seguente a metà del XX secolo circa il 30 % della popolazione viveva nelle città, mentre oggi il numero è salito fino al 50 %.

Le proiezioni mostrano come nel 2050 la popolazione urbana rappresenterà l'80 % dell'intera popolazione mondiale.

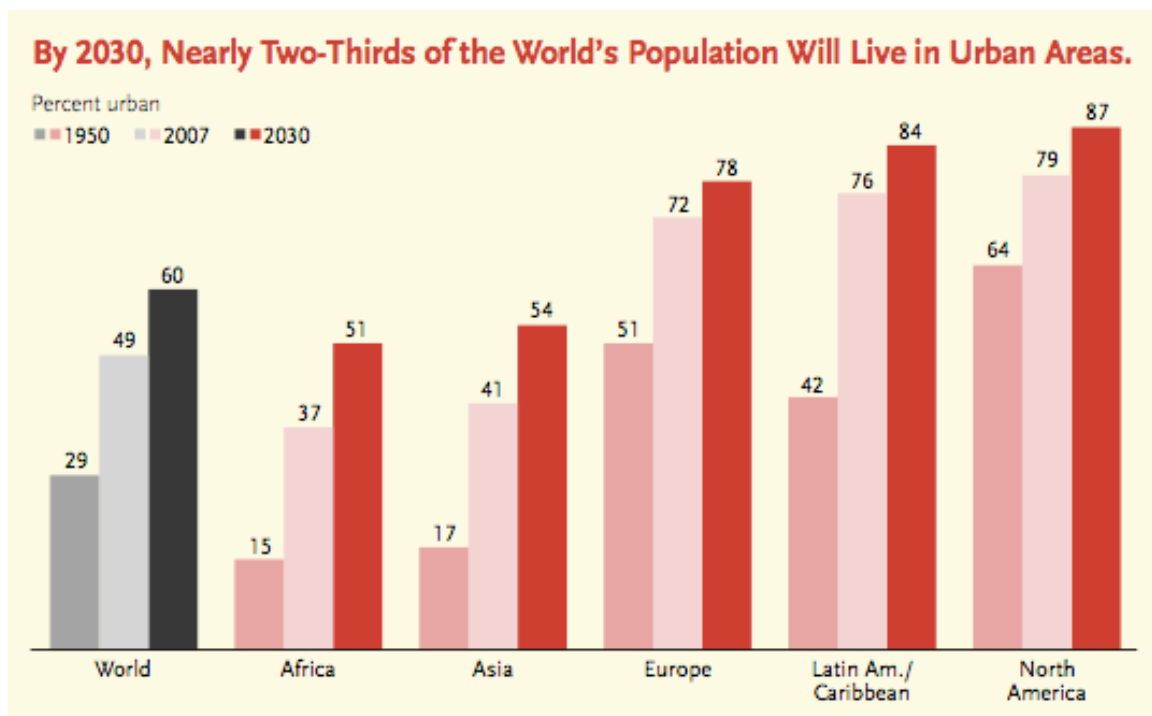


Figura 3.2 - Proiezioni della popolazione urbana (Fonte: United Nations, World urbanization prospects)

Il grafico riassume il trend di urbanizzazione dagli anni '50 ad oggi prendendo in considerazione non solo l'intera popolazione mondiale ma nello specifico anche i vari continenti.

Questo massiccio spostamento verso la città, dovuto principalmente all'industrializzazione nel XIX e nel XX secolo, ha portato ad un numero sempre crescente di edifici nel centro urbano ed ad una riduzione degli spazi verdi fondamentali per la mitigazione dell'isola di calore. Sono aumentati di conseguenza i consumi energetici e tutto a discapito della qualità della vita dei cittadini.

3.2. Interazione tra suolo e atmosfera

Per capire meglio il fenomeno dell'isola di calore e quali impatti può avere un'area urbana sul clima locale è necessario conoscere le caratteristiche, la struttura e i meccanismi fisici principali dei vari strati di atmosfera. La presenza di un centro urbano, infatti, può modificare sia la temperatura che l'umidità dell'aria oltre che il profilo e la struttura dei regimi di circolazione del vento. Spesso incide maggiormente l'urbanizzazione sul clima locale che il riscaldamento globale.

Le cause di questo problema sono molteplici e verranno elencate e affrontate in seguito.

L'alterazione avviene all'interno di un volume definito superiormente dall'urban boundary layer (UBL, chiamato anche strato limite, lo strato atmosferico più vicino al suolo, con un'altezza che varia da poche decine di metri a circa 1000-2000 metri); all'interno di questo spazio si genera una zona più calda, denominata urban surface layer (USL), cioè quella parte di volume a ridosso della struttura urbana. È qui che avviene il maggior surriscaldamento indotto dalla concentrazione edilizia. È presente inoltre un urban canopy layer (UCL), cioè gli spazi realmente occupati dagli edifici urbani (quindi è uno strato che va dalla linea di terra fino all'altezza degli stessi edifici). È in tali spazi che viene percepita maggiormente e sensorialmente dagli abitanti la presenza di questa "cappa".

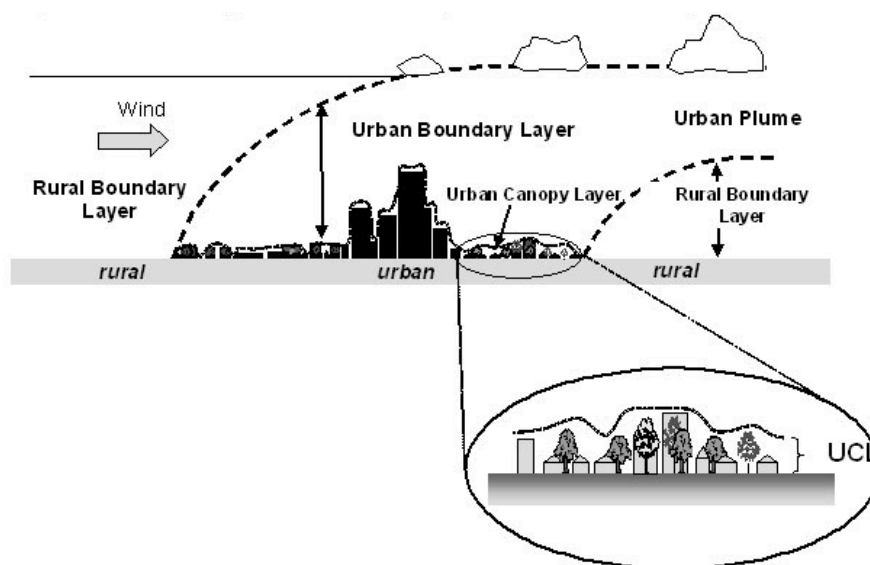


Figura 3.3 - La struttura dell'isola di calore (Fonte: L'isola di calore, l'uomo e il microclima in cui vive; Margelli, Rossi, Georgiadis, Rossi)

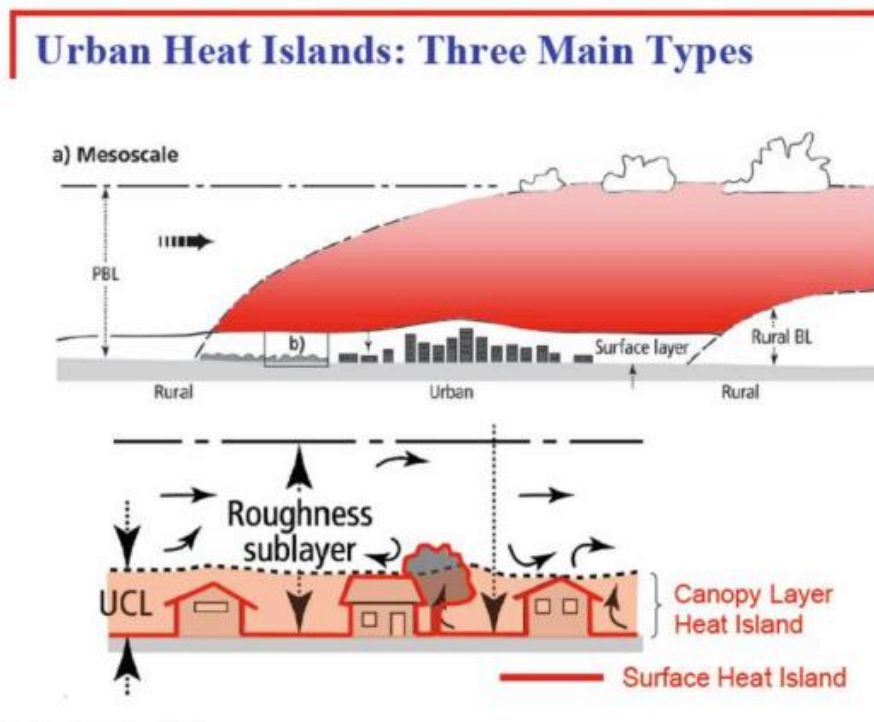


Figura 3.4 - Le tipologie di isole di calore (Fonte: www.google.it)

L'UBL (urban boundary layer) è costituito da tre componenti principali: lo strato di rimescolamento, lo strato residuo e lo strato limite stabile. Ce n'è un quarto, chiamato strato superficiale, corrispondente al primo decimo dello spessore dell'UBL.

Come ipotizzato da Stull nel 1988 lo strato limite assume una struttura che evolve con un ciclo giornaliero. Durante il giorno il sole riscalda il suolo che a sua volta riscalda lo strato rimescolato (caratterizzato quindi da una turbolenza termica e da moti convettivi); nello strato stabile la temperatura aumenta con la quota (inversione termica) perciò il profilo è molto stabile e la turbolenza è dovuta solo al vento. Lo strato rimescolato si sviluppa nelle prime ore dell'alba quando il sole comincia a riscaldare il suolo per irraggiamento e cresce con il tempo raggiungendo la sua massima altezza nel pomeriggio (fino a 3000 metri in una calda giornata estiva, poche centinaia di metri in una giornata invernale e nuvolosa); con il passare del tempo e con il tramonto viene meno la forzante energetica solare e di conseguenza i moti convettivi turbolenti dello strato di rimescolamento si smorzano fino a spegnersi. Si forma così lo strato residuo.

Dopo il tramonto il sole non emette più energia al suolo che però continua ad irradiare nell'infrarosso, raffreddandosi. L'aria a contatto con il suolo si raffredda creando uno strato di aria fredda sotto uno di aria calda, una stratificazione stabile chiamato appunto strato limite stabile.

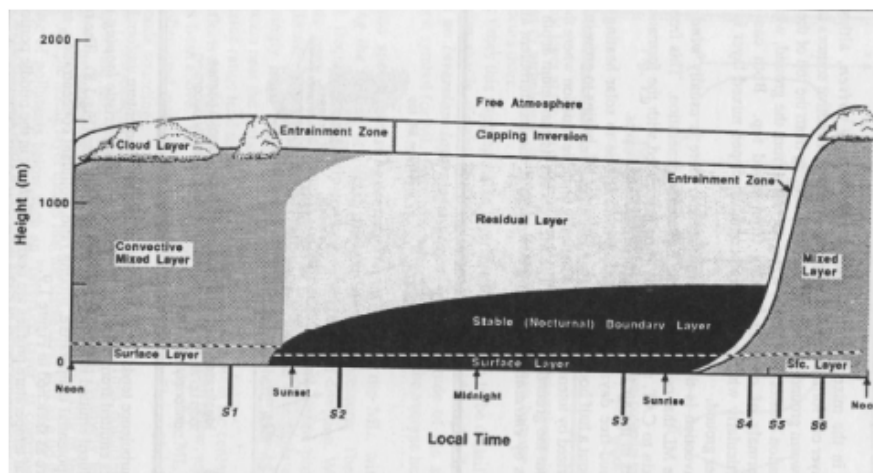


Figura 3.5 - Evoluzione diurna della struttura dello strato limite atmosferico (Fonte: Stull, 1988)

3.2.1. *Bilancio energetico superficiale*

La temperatura, l'umidità e la stabilità dello strato limite atmosferico sono modificati dagli scambi che avvengono tra suolo e atmosfera.

Si può rappresentare tale interazione attraverso una semplice equazione:

$$R_n = H + \lambda E + G + M$$

in cui:

R_n = radiazione netta, rappresenta la quota di energia che resta nell'ambiente e viene ripartita nei vari processi;

H = flusso di calore sensibile (riscaldamento);

λE = flusso di calore latente (evaporazione o condensazione dell'acqua);

G = flusso di calore nel terreno;

M = energia legata ai processi metabolici.

Solo una parte della radiazione che proviene dal sole rimane nell'ambiente diventando radiazione netta, in quanto una parte è riflessa indietro verso lo spazio a causa delle proprietà riflettenti delle superfici (albedo): la radiazione netta, se intrappolata nel sistema, darà luogo alle famose ondate di calore e conseguentemente all'innalzamento delle temperature degli ambienti urbani.

Quando ci troviamo nelle città il bilancio energetico è influenzato dalla presenza di edifici e di tutto ciò di cui fa parte l'ambiente. Questo provoca:

- aumento del flusso di calore sensibile rispetto al flusso di calore latente;

- aumento del flusso di calore immagazzinato;
- presenza del flusso di calore di origine antropica;
- intrappolamento e multiple riflessioni della radiazione nella complicata geometria urbana.

3.3. *Tipologie di isole di calore*

Quando si parla di isola di calore è bene distinguere tre diversi tipi di differenze di temperature:

- a. differenze di temperature della superficie (skin temperature);
- b. differenze di temperatura dell'aria vicina alla superficie, al di sotto dell'altezza media degli edifici (nell'UCL);
- c. differenze di temperature dell'aria al di sopra dell'altezza media degli edifici (nell'UBL).

Per rilevare il primo tipo di UHI (urban heat island) vengono usate delle immagini da satellite, per le altre due si usano termometri tradizionali posti rispettivamente al di sotto e al di sopra della quota media degli edifici circostanti.

3.4. *Cause e fattori predominanti*

Questo fenomeno si manifesta soprattutto nelle grandi metropoli e in presenza di una notevole quantità di edifici: in questo senso l'urbanizzazione crescente degli ultimi anni ha dato un contributo importante nella formazione dell'isola di calore. Ma se l'inurbamento è stato un fenomeno difficilmente contrastabile per diversi motivi, la pianificazione urbana ha peccato di organizzazione e metodologia: ha dimostrato, infatti, poca attenzione al problema e a quelle che potevano essere le conseguenze, come l'alterazione delle condizioni climatiche e delle condizioni di benessere termo-ambientale dello spazio urbanizzato. E questo è avvenuto soprattutto in quelle città (spesso di limitata ampiezza ma caratterizzati da un'elevata intensità abitativa) in cui non c'è interazione tra i vari centri decisionali, i quali operano per molti aspetti in maniera indipendente con modelli di sviluppo inevitabilmente disorganici (esempio sono Milano e Napoli).

Altre cause molto importanti sono l'uso di materiali che trattengono il calore e non permettono l'evaporazione, la diffusa cementificazione, la prevalenza delle superfici asfaltate sulle aree verdi, l'uso di materiali edilizi con bassa capacità di disperdere il calore e la presenza dei cosiddetti canyon urbani (strade particolarmente strette contornate da edifici molto alti).

A queste si aggiungono tutti quegli aspetti legati all'uomo, le sue attività e i processi di antropizzazione che per loro natura possono alterare le condizioni ambientali naturali.

3.4.1. *La morfologia della città*

Il bilancio energetico di una città ci dà una prima importante stima su quelli che sono i parametri che influiscono maggiormente la formazione dell'isola di calore urbana. Ma tutte le cause sono legate e correlate tra loro, in quanto derivanti da un unico fattore: la geometria della città.

È stato infatti più volte dimostrato che la struttura fisica della città altera le condizioni climatiche e meteorologiche della stessa, portando a diversi disagi in alcuni periodi dell'anno. Le condizioni di benessere sono quindi influenzate e molto spesso peggiorate a causa della costituzione fisica e dell'assetto geometrico delle superfici urbane e architettoniche. E in questo senso il settore delle costruzioni, accompagnato e indirizzato da una buona pianificazione urbanistica, svolge e dovrà svolgere un ruolo di fondamentale importanza, in quanto ha un impatto inevitabile sull'ambiente, ad esempio di termini di erosione dei aree naturali o agricole, di antropizzazione dei luoghi, di inquinamento e di alterazione dell'ambiente naturale.

Volendo agire direttamente sul bilancio della città sarà necessario migliorare uno o più dei seguenti fattori:

- strutturazione planivolumetrica (presenza di trappole come i canyon urbani);
- fattore di inerzia della città;
- capacità di dissipazione del calore attraverso l'evotraspirazione degli alberi;
- capacità di dissipare il calore attraverso l'evaporazione di superfici permeabili;
- capacità di rinviare verso il cielo parte dell'energia solare che è riuscita a penetrare negli ambienti urbani;
- permeabilità della struttura urbana.

Soprattutto il fattore di inerzia gioca spesso un ruolo negativo: nella maggior parte delle città (sono pochi gli esempi positivi, come alcune città dello Yemen) rende impossibile sfruttare il raffrescamento notturno degli edifici, che richiederebbe una differenza di circa 5°C tra giorno e notte. Questo perché il calore accumulato durante una giornata di sole, a causa della muratura massiva delle costruzioni nei centri storici, viene riemesso durante la notte riducendo l'abbassamento della temperatura. Soprattutto quando la conformazione degli edifici non permette al vento e alle brezze di mitigare tale effetto.

La situazione in molte città italiane ed europee è piuttosto critica: si tratta di aree territoriali di limitata ampiezza ma con alta densità abitativa e poche azioni mirate alla risoluzione del problema, in cui l'isola di calore riesce facilmente a svilupparsi.

Proprio per tutti gli aspetti che sono stati elencati è importante che pianificazione urbanistica e progettazione procedano di pari passo, andando verso un'architettura che possa mitigare l'effetto UHI, sia per il costruito che per le nuove aree di espansione.

3.4.2. *I canyon urbani*

La complessa struttura urbana di una città può risultare di fondamentale importanza per la mitigazione del fenomeno dell'UHI, ma il più delle volte diventa un elemento non

contrastante bensì favorevole. È il caso dei cosiddetti canyon urbani, cioè strade relativamente strette circondate da edifici relativamente alti: questa situazione può provocare modifiche della circolazione del vento.

A differenza di una superficie piana non edificata, i canyon urbani catturano una maggiore quantità di radiazione solare che rimane intrappolata dalle numerose riflessioni multiple; è proprio a causa di questo fenomeno (denominato effetto canyon) che in certe parti della città l'isola di calore si conserva anche di notte. Succede, infatti, che il raffreddamento dell'aria che avviene nei canyon è molto più lento rispetto a tutte le altre zone (esempio le aree rurali), in quanto l'energia infrarossa irraggiata nell'ambiente dalle superfici che delimitano il corridoio stradale, anziché disperdersi liberamente nello spazio, viene in gran parte catturata e più volte riflessa da parte degli edifici che si fronteggiano agli apposti lati della strada. L'intrappolamento della radiazione solare e infrarossa è tanto più forte quanto più gli edifici sono alti rispetto alla larghezza della via.

Schematicamente il canyon è composto da una massa d'aria intrappolata tra due edifici posti uno di fronte all'altro.

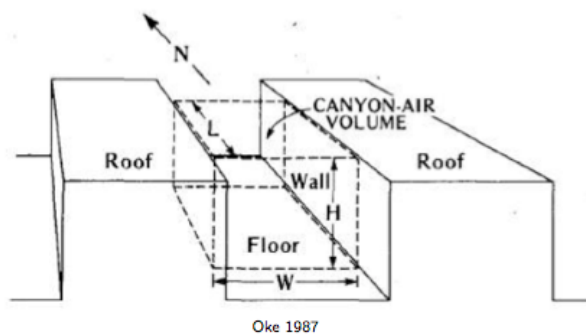


Figura 3.6 - Schema canyon urbano, Nunez e Oke, 1977 (Fonte: Processi meteorologici a scala urbana, Giovannini, 2011)

La disposizione degli edifici è in grado di modificare i percorsi della radiazione netta. La geometria del canyon influenza il bilancio energetico in diversi modi: aumenta la superficie esposta ai processi di scambio, complica l'ingresso della radiazione solare, determina un'interazione tra le superfici che lo compongono, limita la capacità di dispersione della radiazione infrarossa ad onda lunga e limita la turbolenza dell'aria.

I parametri più significativi per la caratterizzazione della geometria del canyon sono:

- orientamento rispetto ai punti cardinali;
- rapporto H/W tra l'altezza e la larghezza della struttura;
- fattore di vista (SVF).

Il rapporto H/W descrive quanto gli edifici siano densamente spazati rispetto alla loro altezza: valori crescenti del rapporto indicano una diminuzione della porzione di cielo visibile dall'interno del canyon.

Il parametro migliore per descrivere la varietà delle situazioni urbane non è però quest'ultimo rapporto, bensì lo sky view factor (SVF), la frazione di cielo visibile: il rapporto tra 0 e 1 tra la radiazione ricevuta (o emessa) da una superficie planare e la radiazione emessa (o ricevuta) dall'intero ambiente atmosferico. Quanto più è piccolo

SVF tanto più sarà alta la quantità di energia che rimarrà intrappolata e verrà ceduta sotto forma di calore durante la notte.

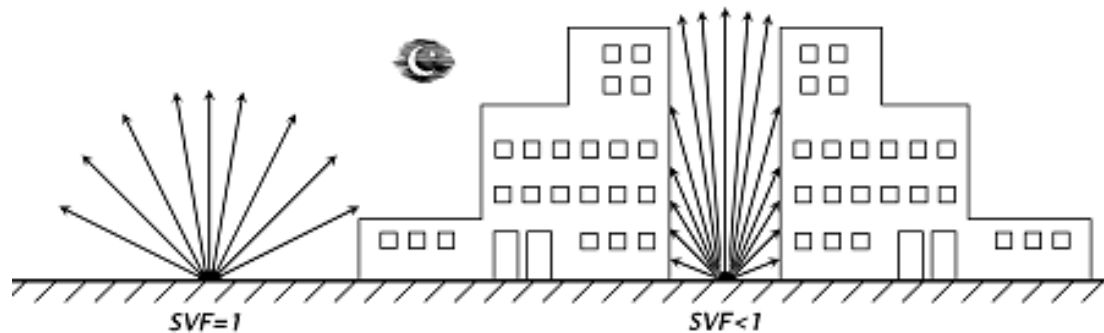


Figura 3.7 - Sky view factory, valori in base alla morfologia della città (Fonte: www.google.it)

Come sostenuto da Unger (2009) lo SVF è una caratteristica di uno specifico punto dello spazio ed esprime l'entità dello scambio radiativo con il cielo.

La riduzione di cielo visibile è ritenuto da molti una delle principali cause dell'innalzamento della temperatura al di sotto dell'altezza media degli edifici, in quanto determina una diminuzione delle perdite radiative notturne in condizioni di vento debole e cielo sereno.

L'immagine seguente mostra la differenza tra Nord America, Europa e Australia in base al fattore di vista e di conseguenza al tipo di struttura urbana delle varie città.

Closed-in urban areas have higher heat islands.

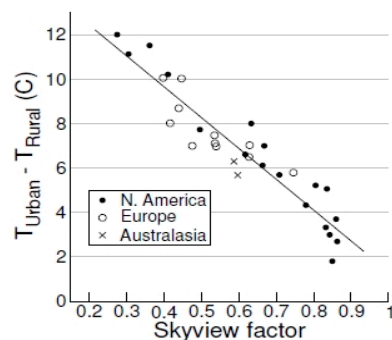


Figura 3.8 - Il fattore di vista in base al tipo di struttura nelle varie città (Fonte: www.google.it)

3.4.3. *L'influenza del vento*

Un altro fattore direttamente collegato alla geometria della città è il profilo del vento all'interno del contesto urbano. Come detto in precedenza le brezze e in generale il vento è di fondamentale importanza per esempio di notte, quando le superfici rilasciano il calore accumulato durante il giorno e il ristagno di aria calda provoca effetti di discomfort per i cittadini.

La morfologia della città influenza il profilo del vento: gli edifici sono, infatti, ostacoli aerodinamici che riducono l'esportazione del calore, soprattutto se particolarmente grandi e vicini tra loro.

In assenza di un centro urbano (per esempio in una zona rurale) nello strato superficiale la velocità del vento cresce approssimativamente con il logaritmo della quota.

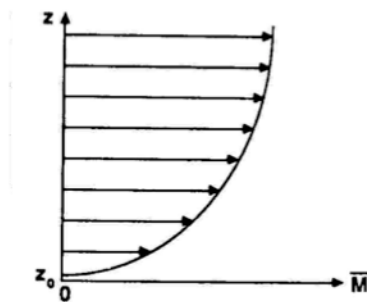


Figura 3.9 - Profilo logaritmico del vento proposto da Stull nel 1988 (Stull, 1988)

M = intensità del vento
 Z = quota

In condizioni di stratificazione instabile (convettiva) e stabile il profilo si discosta leggermente dall'andamento logaritmico precedentemente visto.

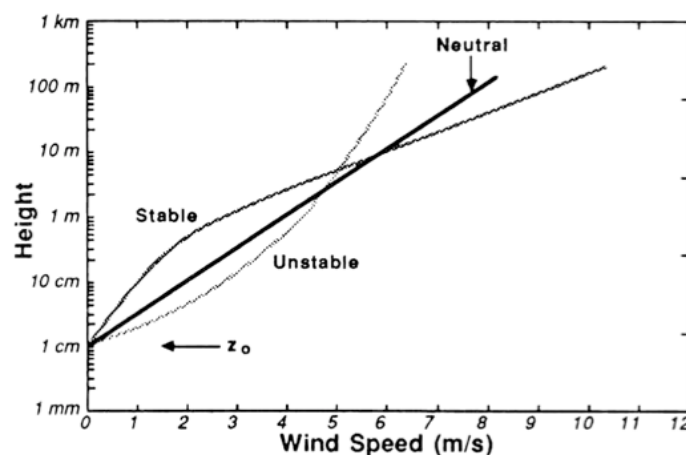


Figura 3.10 - Profilo del vento in condizione stabile, neutra e instabile proposta da Stull, 1988 (Fonte: Microclima urbano, impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè, 2006)

In condizioni neutre si avrà un'intensità media del vento:

$$\bar{M} = \left(\frac{u^*}{k} \right) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

proporzionale alla velocità di attrito u^* (rappresenta l'intensità della turbolenza meccanica originata dall'attrito tra suolo e atmosfera) e al logaritmo del rapporto tra la quota z e la lunghezza di rugosità aerodinamica z_0 (parametro statico che dipende dalle caratteristiche geometriche della superficie).

In presenza di un centro urbano la struttura dello strato limite (chiamato STRATO LIMITE URBANO) verrà modificata. Questo strato è caratterizzato dalla presenza di ostacoli (edifici, alberi) non comuni negli spazi rurali. È stato lo studioso Rotach nel 2003 ad interessarsi in maniera particolare all'UBL, pensandolo diviso in 3 substrati:

- uno strato di copertura urbano (urban canopy layer, UCL): i canyon sono gli elementi strutturali di questo strato, all'interno dei quali si sviluppano vortici trasversali rispetto all'asse;
- un substrato di rugosità (roughness sublayer, RSL): include lo strato di copertura urbana, e si definisce come lo strato in cui il flusso e la turbolenza sono direttamente influenzati dalla presenza di ostacoli. Lo strato parte dalla superficie fino ad un'altezza z_r che dipende dall'altezza e della densità degli elementi di rugosità (spesso z_r è il doppio dell'altezza media degli edifici);
- Un substrato inerziale (subito sopra il RSL): all'interno di questo strato i flussi turbolenti non risentono della presenza degli edifici e sono quindi omogenei. Si estende dalla quota z_r fino ad 1/10 dello spessore dello strato rimescolato.

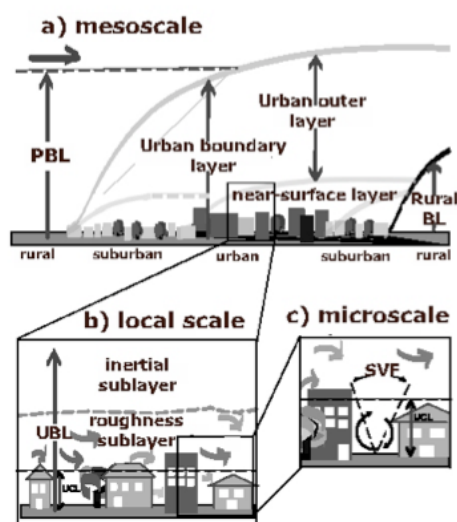


Figura 3.11 - Substrati dello strato limite urbano, proposto da Rotach, 2003 (Fonte: Microclima urbano, impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè, 2006)

Una volta individuati questi 3 substrati la relazione che descrive il profilo logaritmico del vento deve essere aggiornata. Inoltre con la copertura urbana e con la presenza di

ostacoli si introduce un nuovo parametro: l'altezza di spostamento d . Essa dipende dall'altezza media degli edifici e dalla loro densità; nelle città europee il rapporto d/z_h è compreso tra 0,5 e 0,9.

Al di sopra della quota z_h degli edifici il profilo logaritmico del vento diventa:

$$\bar{M} = \left(\frac{u^*}{k} \right) \ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right)$$

con z_0 = lunghezza di rugosità aerodinamica

k = costante di Von Kerman ($=0,4$).

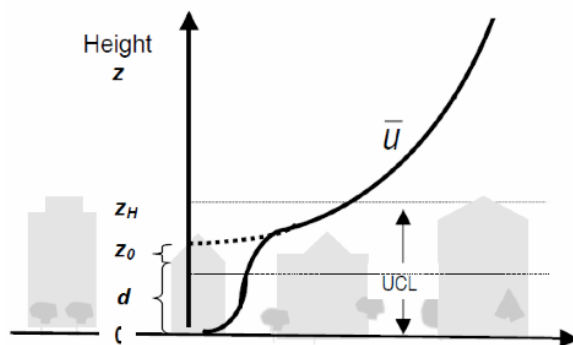


Figura 3.12 - Profilo del vento in funzione dell'altezza degli edifici (Fonte: Microclima urbano, impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè, 2006)

L'immagine mostra come sotto l'altezza media degli edifici il profilo del vento diminuisca molto repentinamente; all'interno del canopy layer c'è quindi uno scarso ricambio di aria e di conseguenza la temperatura atmosferica sarà maggiore se è presente uno scambio convettivo con superfici surriscaldate.

Introdurre il parametro d è di fondamentale importanza per capire e quantificare la riduzione della velocità provocata in quota dagli edifici. Una buona regola per determinare d è la seguente:

$$d = \frac{2}{3} z_h$$

Naturalmente la legge è utilizzabile solo al di sopra della quota $d+z_0$.

3.4.4. Conclusioni

Tutti gli elementi presi in considerazione fanno sì che il microclima venga modificato o alterato, spesso con conseguenze negative.

Ma per meglio comprendere le peculiarità proprie di un'area urbana è necessaria la conoscenza di alcune caratteristiche del tessuto urbano, dei materiali e delle strutture che lo compongono.

Un ottimo approccio è quello proposto da OKE (2006) in cui si distinguono le diverse “zone climatiche urbane” (UCZ) in base alla percentuale di superficie impermeabilizzata (edifici, strade, parcheggi), in base al rapporto di verticalità dei canyon urbani λ_s (definito come il rapporto tra l'altezza media dei principali elementi di rugosità, come edifici e alberi, e la distanza media tra elementi vicini) e in base alle classi di rugosità di Davenport (2000).








UCZ	descrizione	immagine	classe di rugosità	rapporto di verticalità dei canyon urbani λ_s (vedi Tabella 9)	% impermeabile
1	zona intensamente urbanizzata con edifici separati, ravvicinati, ad elevato sviluppo verticale, con rivestimento (p.es. centro città con grattacieli)		8	>2	>90
2	zona intensamente e molto densamente urbanizzata, con edifici a 2-5 piani, contigui o molto ravvicinati, spesso di mattoni o pietra (p.es. centro storico)		7	1.0-2.5	>85
3	zona molto urbanizzata, a media densità, con edifici in fila o separati, ma comunque ravvicinati (p.es. area residenziale)		7	0.5-1-5	70-85
4	zona molto urbanizzata, a densità media o bassa, con edifici estesi e bassi e parcheggi asfaltati (p.es. area commerciale)		5	0.05-0.2	70-95
5	zona suburbana mediamente sviluppata, a bassa densità, con case a uno o due piani (p.es. aree residenziali suburbane)		6	0.2-0.6 (>1 se con alberi)	35-65
6	zone destinate ad uso misto, con grandi edifici circondati da vaste aree non edificate (p.es. ospedali, aeroporti)		5	0.1-0.5, dipende dagli alberi	<40
7	zone semi-rurali, con case sparse in un'area naturale o agricola (p.es. fattorie)		4	>0.05, dipende dagli alberi	<10

Figura 3.13 - Zone climatiche urbane secondo Oke (2006). Nell'immagine le linee continue rappresentano superfici impermeabili, quelle tratteggiate superfici permeabili (Fonte: Microcima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè 2006)

L'immagine seguente mostra i parametri che descrivono le proprietà di copertura e di struttura tridimensionale delle superfici urbane (modello proposto da Baklanov nel 2004). I valori tipici di struttura tridimensionale sono calcolati escludendo la vegetazione.

parametro	immagine	descrizione	valori tipici
λ_p indice d'area piana degli edifici		rapporto tra l'area piana coperta da edifici e l'area piana totale	urbano: 35-65% suburbano: 15-40%
λ_v indice d'area piana della vegetazione		rapporto tra l'area piana coperta da vegetazione (e talora da terreno nudo) e l'area piana totale	urbano: 0-35% suburbano: 35-70%
λ_i indice d'area piana delle superfici impermeabili		rapporto tra l'area piana coperta da superfici impermeabili (esclusi gli edifici, p.es. strade e parcheggi) e l'area piana totale	urbano: 20-50% suburbano: 10-40%
z_{01} altezza media degli edifici		media pesata dell'altezza di tutti gli edifici, calcolata utilizzando come pesi l'area degli edifici stessi	urbano: 4-8m suburbano: 8-20m edifici alti: >20m
λ_f rapporto di esposizione frontale (o indice d'area frontale)		rapporto fra l'area frontale totale degli edifici e l'area totale della superficie piana (includendo la vegetazione può quadruplicarsi)	urbano: 0.1-0.3 suburbano: 0.1-0.6 edifici alti: >0.4
λ_c rapporto di esposizione completa (o indice d'area totale)		rapporto tra l'area della superficie totale tridimensionale e l'area totale della superficie piana	urbano: 1.3-1.8 suburbano: 1.5-2.0 edifici alti: >2
V_p volume degli edifici normalizzato		rapporto tra il volume degli edifici e l'area totale della superficie piana	urbano: 1-3 m ³ /m ² suburbano: 3-15 m ³ /m ² edifici alti: >15 m ³ /m ²
D_x distanza caratteristica tra elementi		distanza tra i centroidi degli edifici $D_x = L_x + W_x$	
W_x larghezza caratteristica dei canyon urbani		ampiezza media dello spazio libero tra gli edifici	
λ_s rapporto di verticalità dei canyon urbani		rapporto tra altezza e larghezza dei canyon $\lambda_s = z_{01} / W_x$	urbano: 0.1-0.5 suburbano: 0.5-2 edifici alti: >2

Figura 3.14 – Parametri che descrivono le proprietà di copertura e di strutture tridimensionale delle superfici urbane (Beklanov) (Fonte: Microcima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè 2006)

3.5. Le conseguenze

La tendenza recente e attuale verso una progressiva urbanizzazione della popolazione riguarda sia paesi sviluppati che paesi in via di sviluppo, in cui l'impatto è ancora più dannoso. È indubbio che la concentrazione di popolazione e di edifici possa alterare il clima urbano rispetto a quello rurale: tale effetto riguarda tutte le variabili meteorologiche ma in particolar modo il regime dei venti e le distribuzioni e l'intensità delle temperature.

Il problema dell'UHI si manifesta maggiormente in inverno e durante le ore notturne a causa del maggior assorbimento di calore e del più lento raffreddamento da parte delle superfici edificate, ma è particolarmente dannosa per la salute umana durante la stagione estiva quando la città è colpita da forti ondate di calore e la temperatura notturna dell'aria si mantiene alta riducendo la capacità di ripresa dell'organismo umano dalla condizione di estremo calore del giorno, soprattutto tra gli anziani e le persone malate. Inoltre l'innalzamento delle temperature nei centri urbani è importante perché in crescente aumento a causa di un processo a feedback positivo per cui è necessario un maggior uso dei condizionatori (per esempio durante la stagione estiva) per mitigare l'effetto delle alte temperature, che però non fa altro che causare un ulteriore aumento delle stesse favorendo lo sviluppo della bolla di calore. Picchi di domanda di consumo energetico, costi di climatizzazione molto altri, inquinamento e emissioni di gas serra sono altre conseguenze del medesimo problema.

La differenza di temperatura diurna è solitamente meno intensa di quella notturna ma si può estendere in verticale fino alla quota di diverse centinaia di metri e anche in orizzontale per diversi chilometri (chiamato effetto "pennacchio urbano"). L'aria è più turbolenta, più calda, più secca e più inquinata; lo strato rimescolato assume una forma a cupola subito sopra la città ed è significativamente più spesso rispetto a quello delle zone rurali o di periferia.

Ma quella più percettibile è l'isola di calore notturna: si sviluppa gradualmente nel tardo pomeriggio e in serata e raggiunge la sua massima intensità nel corso della notte. Nello strato del canopy layer (UCL) può raggiungere intensità di oltre 10 °C.

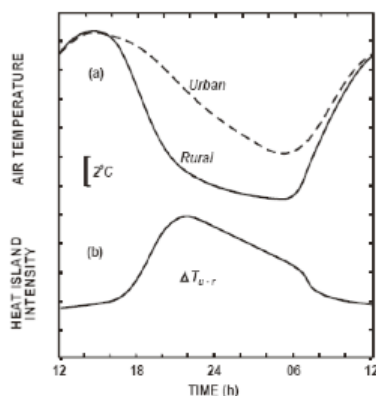


Figura 3.15 – Variazione giornaliera della temperatura dell'aria in area urbana e in area rurale (Fonte: L'isola di calore, l'uomo e il microclima urbano in cui vive, Margelli, Rossi, Georgiadis, Rossi)

È in questo arco temporale che si registra la maggiore differenza di comportamento tra zona urbana e zona rurale: quest'ultima si raffreddano per irraggiamento e lo strato superficiale di stabilizza sviluppando un'inversione termica mentre l'area urbana, a causa della propria temperatura e degli elementi di rugosità, conserva una turbolenza residua che attenua o addirittura annulla la stabilità atmosferica degli strati più bassi. Si crea così una specie di strato rimescolato notturno.

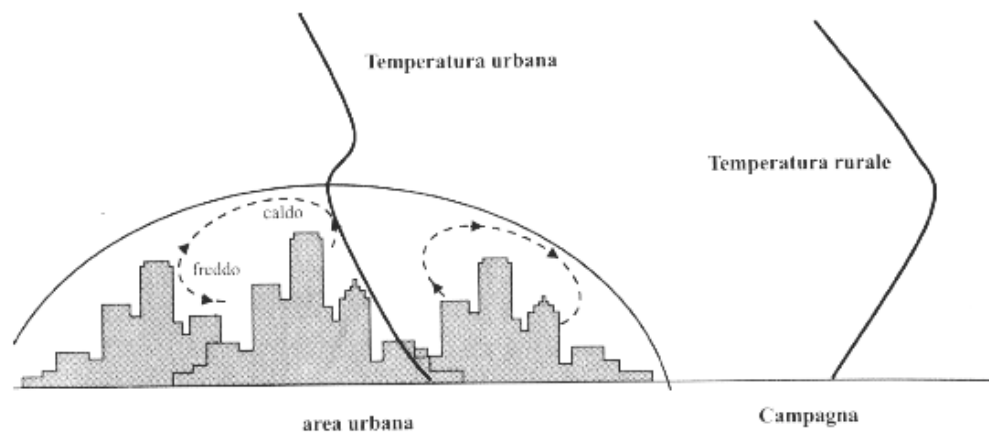


Figura 3.16 – Profili termici notturnni nell'isola di calore urbana e nell'area rurale circostante (Fonte: Microclima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè 2006)

L'inversione termica delle zone rurali si sviluppa subito dopo il tramonto a partire dalla superficie, mentre quella delle urbane si sviluppa solitamente 2-4 ore dopo il tramonto e a quote più elevate: nelle ore successive lo spessore dello strato aumenta e contemporaneamente decresce quello rimescolato notturno.

Durante le prime ore del mattino si verifica, negli strati bassi, un trasporto di aria fredda dalle aree circostanti verso la città che riduce bruscamente il gradiente termico città-campagna. In queste ore lo strato rimescolato cresce più rapidamente nell'area rurale.

Tra le conseguenze, oltre all'aumento di turbolenza, ci sono anche degli effetti sui venti locali. Soprattutto in condizioni di venti deboli o assenti si sviluppano dei sistemi di circolazione analoghi alle brezze di mare. L'aria calda al centro della città abbassa la pressione favorendo una circolazione di tipo toroidale: succede così che flussi di aria si spostano dai bassi strati delle aree suburbane verso il centro della città, si sollevano e divergono nuovamente verso la periferia scendendo gradualmente verso la superficie terrestre. Tale fenomeno può avere sia effetti negativi che positivi: può richiamare dalla campagna aria più pulita ma allo stesso tempo può far convergere verso la città l'aria inquinata di aree industriali o arterie stradali periferiche.

Le circolazioni indotte dall'isola di calore possono interagire in modi complessi con altre circolazioni locali, come brezze mare-terra o brezze di valle.

3.6. *Mitigazione: su cosa agire*

Il fenomeno dell'isola di calore si sta sviluppando sempre di più in diverse realtà urbane e, soprattutto in Italia, sono ancora poche le iniziative intraprese verso politiche di pianificazione che possano affrontare il problema e mitigarne l'effetto pericoloso e dannoso. Questo perché spesso la pianificazione è sviluppata su troppi livelli decisionali, e manca l'interazione tra gli stessi che rappresenta l'elemento chiave per risolvere delle problematiche che abbracciano diversi aspetti.

È necessaria quindi una buona pianificazione e una politica di controllo delle condizioni ambientali, in modo da definire strategie e implementare azioni pratiche per il monitoraggio e la mitigazione dell'isola di calore. Il primo passo potrebbe essere quello di una revisione dell'attuale struttura di amministrazione del territorio ed un uso di più aggiornate procedure di governo dello sviluppo urbano-territoriale.

Il monitoraggio è forse l'aspetto più complesso, in quanto il campo termico è molto variabile, c'è una forte variabilità temporale (anche in relazione alle condizioni meteorologiche locali) e risulta complicata l'integrazione di diversi metodi di indagine (termo-igrometri, satelliti, aerei). Le strategie di mitigazione consistono nella definizione e nell'applicazione di modelli di pianificazione urbana che possano ridurre l'effetto isola di calore.

Tra questi, i più importanti sono:

- aumento delle superfici con potere riflettente (albedo);
- realizzazione di aree verdi nel contesto urbano;
- riduzione dei carichi antropogenici;
- uso di materiali specifici.

3.6.1. *Albedo*

L'albedo di una superficie è la frazione di luce, o più in generale, di radiazione incidente che viene riflessa indietro in tutte le direzioni. È quindi il potere riflettente di una superficie. Maggiore è l'albedo (il suo valore massimo è 1) e maggiore è la quantità di radiazione che le superfici urbane riflettono nello spazio; al contrario valori bassi di questo parametro caratterizzano oggetti e corpi in grado di assorbire l'energia proveniente dal sole, il che contribuisce al riscaldamento della città.

In ambito urbano, implementare la capacità delle superfici di riflettere la radiazione solare verso lo spazio potrebbe essere di fondamentale importanza per evitare l'immagazzinamento del calore nel tessuto urbano, soprattutto in quelle strutture a canyon tipiche di città ad alto tasso abitativo.

L'uso di superfici con alto potere riflettente potrebbe risultare importante se applicato ad edifici ed alle strade.

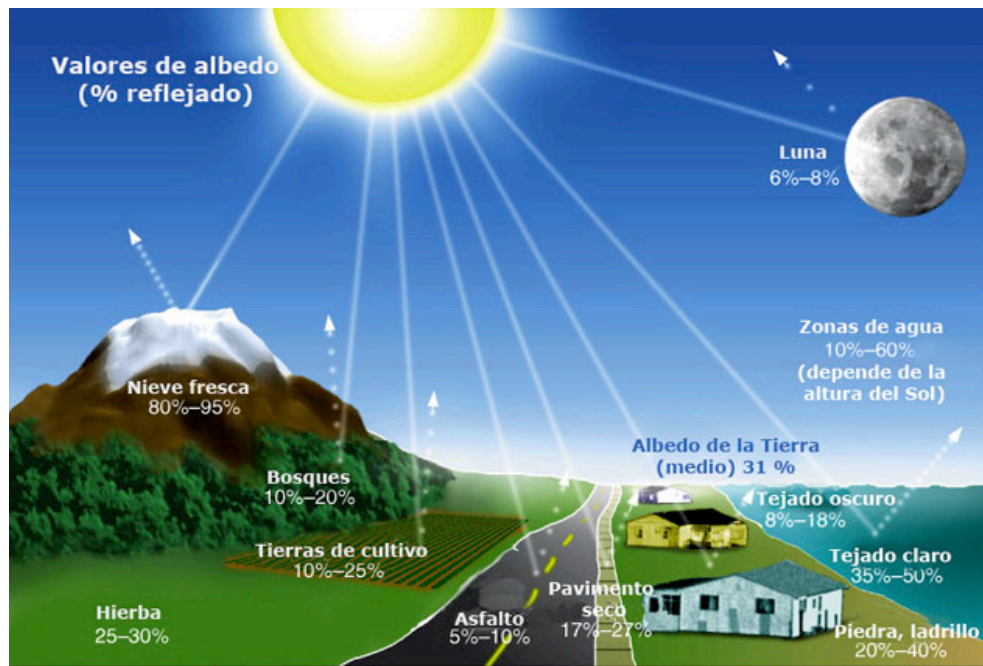


Figura 3.17 - Valori di albedo nel contesto urbano e extra urbano (Fonte: www.google.it)

Alcuni valori di albedo sono mostrati nella tabella seguente.

Superficie	Fattore di Albedo
Neve	0.75
Superficie d'acqua (elevati angoli di incidenza)	0.70
Pareti di edifici chiare (mattoni chiari, pitture chiare)	0.60
Foglie secche	0.30
Pareti di edifici scure (mattoni rossi, pitture scure)	0.27
Foresta in autunno	0.26
Erba verde	0.26
Cemento	0.22
Erba secca	0.20
Superfici di rocce non omogenee	0.20
Tereni argillosi	0.14
Superfici di bitume e ghiaia	0.13
Foresta in inverno	0.07
Strade bianche	0.04

Figura 3.18 - Valori di albedo di alcune tipologie di materiali (Fonte: www.google.it)

3.6.2. *Aree verdi*

Quando si parla di pianificazione per la riduzione degli effetti dovuti all'isola di calore urbana non si può non prendere in considerazione quella che è la più efficace ed economica strategia di mitigazione: aumentare l'estensione delle aree verdi.

Purtroppo l'attività antropica degli ultimi non si sta sviluppando in questa direzione: la vegetazione dell'ambiente urbano sta scomparendo piano piano perché vengono spesso realizzati schemi abitativi a bassa densità abitativa (abitazioni monofamiliari) che riducono la differenziazione tra campagna e città e che creano maggior pressione sul terreno. Venendo meno la campagna (e quindi l'estensione di aree verdi) risulta vano l'effetto mitigante sul Boundary Layer.

Il verde urbano può e deve essere considerato uno dei più utili strumenti di mitigazione per diversi motivi: ha valore di albedo e inerzia termica differente di altri materiali, senza considerare la grande concentrazione di acqua che possiede. Nel caso di vegetazione spontanea o coltivata l'albedo è dell'ordine del 20-30 %, mentre nelle città cala vertiginosamente a valori inferiori al 5 % e questo dato mostra l'importanza che ricopre il verde all'interno di una strategia e di una pianificazione urbana.

Con maggiore albedo le zone verdi immagazzinano meno energia, e la maggior parte di quella che viene assorbita viene usata dalle piante stesse per i propri processi vitali facendo diminuire ancora di più la radiazione rimessa nell'ambiente. La presenza di verde è particolarmente importante nella stagione estiva, quando le temperature sono più alte e grazie all'evapotraspirazione viene abbassata la temperatura dell'aria.

Inoltre ha anche funzione ombreggiante, impedendo alla radiazione di incidere direttamente sui materiali artificiali: questi si scaldano di meno e di conseguenza l'energia riemessa nell'ambiente sotto forma di calore sarà minore.

3.6.3. *Carichi antropogenici*

Un altro aspetto su cui si può apporre delle modifiche affinché si abbia un miglioramento delle condizioni all'interno del centro urbano è la produzione di carichi antropogenici. La città è, infatti, fonte di produzione di energia, che si va a sommare a quella della radiazione incidente: sono carichi generati dal traffico, dagli impianti di condizionamento o riscaldamento e dagli impianti industriali.

Gli effetti di questi carichi si notano soprattutto nella stagione invernale: se in estate l'innalzamento della temperatura nella città è influenzato dall'interazione tra radiazione solare e struttura urbana, in inverno il delta termico è fortemente influenzato dal carico interno, generato dal calore disperso dagli edifici e dal traffico automobilistico. È stato stimato che il carico emesso dagli edifici è di circa 170 KWh al mq di superficie abitabile per anno.

Da queste considerazioni emerge che la città è naturalmente più ricca di energia rispetto alle zone rurali o di campagna, e tale squilibrio si acuisce ulteriormente a causa delle fonti di calore primarie.

Nella maggior parte dei casi l'isola di calore non è causata dai carichi interni della città, ma ridurli potrebbe comunque essere d'aiuto; bisognerebbe quindi limitare

- i consumi di energia elettrica;
- il traffico veicolare;
- i consumi per il riscaldamento domestico.

Uno studio del 1998 (Studio Rosenfeld) ha mostrato come un significativo aumento dell'albedo all'interno della città, una maggiore riflettenza delle strade e una buona diffusione degli spazi verdi potrebbe far risparmiare circa il 50/60 % dell'energia utilizzata per il raffrescamento estivo.

Queste sono alcuni dei metodi possibili per favorire la mitigazione dell'isola di calore urbana: tutto però deve essere sostenuto da una pianificazione urbanistica e dalla partecipazione di tutti i cittadini.

3.6.4. *I materiali*

Nello studio ampio e complesso del fenomeno dell'isola di calore trovare una causa principale è praticamente impossibile: la molteplicità di elementi rende il problema di difficile risoluzione.

Una delle cause su cui si può intervenire in maniera determinante è la scelta dei materiali da utilizzare nelle realtà cittadine: le differenti proprietà termiche dei materiali presenti nelle zone urbane rispetto a quelli presenti nelle zone rurali non fanno altro che favorire la formazione della famosa cappa di calore.

Il parametro che ci fornisce la risposta termica di una superficie a un dato flusso di calore è l'inerzia termica (o ammettenza termica) μ .

Come sostenuto da Oke (1987) l'inerzia termica di una superficie misura la variazione di temperatura come risultato di una variazione del flusso di calore attraverso la superficie stessa: superfici con μ bassa avranno un'elevata variazione di temperatura per un dato flusso di calore che lo attraversi.

Questo parametro è funzione di:

$$\mu = \sqrt{kC}$$

con k = conducibilità termica

C = capacità termica

e risulta quindi dipendente dai materiali che lo compongono.

Molte delle superfici presenti nel contesto urbano sono caratterizzate da un alto valore di ammettenza termica, ricevono quindi molto calore da immagazzinare con relativa semplicità e subiscono modeste variazioni di temperatura superficiale.

Le conseguenze (negative) di questo accumulo di calore si percepisce maggiormente durante il periodo notturno quando le superfici rilasciano l'energia gradualmente ma a causa della riduzione dello SVF (sky-view factor) e della presenza di canyon urbani il raffreddamento delle stesse risulta lento e spesso inefficace.

I materiali influenzano particolarmente il bilancio energetico superficiale e agire sugli stessi può essere un'ottima tecnica di mitigazione.

Si può dividere i materiali in base alla loro destinazione d'uso:

- materiali per pavimentazioni;
- materiali per costruzione;
- materiali strutturali.

Materiali per pavimentazioni

Per valutare le performance dei materiali per pavimentazioni si usano fotocamere termiche, le quali riescono a registrare i dati sia quando l'elemento preso in considerazione è esposto alla luce solare diretta sia quando è in ombra o nelle ore notturne. Il comportamento di tali elementi è quindi la temperatura irradiata è influenzato anche dal colore, ad esempio il calcestruzzo chiaro mostra caratteristiche di assorbimento radiativi, e quindi di emissione termica, minori rispetto al calcestruzzo scuro. Il comune asfalto cittadini ha invece una temperatura superficiale molto maggiore rispetto allo stesso calcestruzzo (come si può notare dall'immagine seguente).

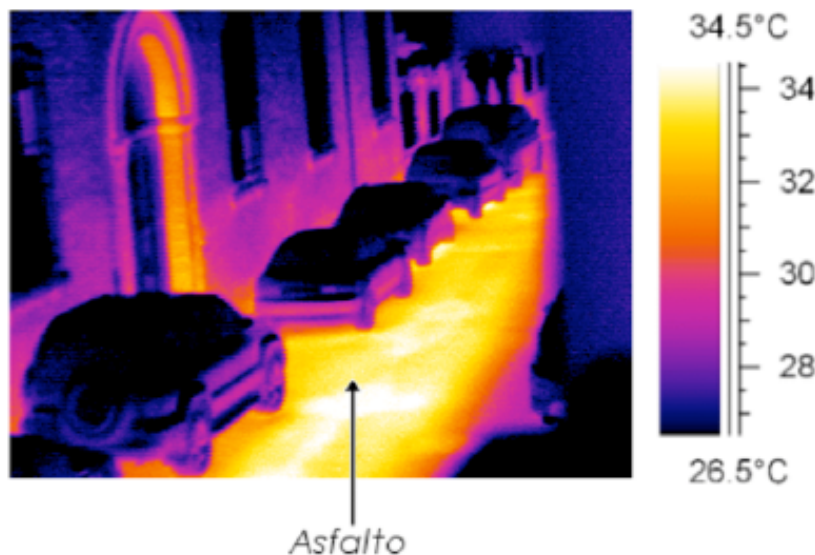


Figura 3.19 - Foto termica di una strada con manto in asfalto: si nota l'elevata temperatura del manto, il quale ha accumulato calore durante il giorno (Fonte: L'isola di calore, l'uomo e il microclima urbano in cui vive, Margelli, Rossi, Georgiadis, Rossi)

Una buona soluzione adottata per le pavimentazioni è il ciottolato: è composto da sassi di fiume arrotondati e di granulometria grossa, immersi in un letto di sabbia sotto il quale sono alloggiati le tubazioni per le fogne e per l'acqua. Grazie alla sua struttura limita il defluire dell'acqua piovana, favorendone invece l'infiltrazione e l'evaporazione: inoltre è caratterizzato da un costante scambio termico, il che consente alla temperatura di stabilizzarsi a valori omogenei a quelli dell'ambiente circostante.

Spesso sono strade ad uso pedonale, quindi non subiscono il carico termico prodotto dalle auto e sono ombreggiate da alberi o dagli edifici stessi.

Materiali per costruzione

Nella progettazione dell'involucro urbano bisogna pensare soprattutto al mantenimento della massa termica (la capacità di assorbire calore da parte del materiale) in modo da consentire un risparmio energetico nei periodi invernali. Elementi come il cemento, i

mattoni e le tegole hanno un'alta massa termica, è necessaria cioè molta energia per cambiarne la temperatura. L'uso di materiali in base alla loro massa termica è utile soprattutto nelle città in cui si hanno estati calde umide e inverni freddi.

Materiali strutturali

Grazie ai nuovi sistemi ingegneristico-tecnologici si sta diffondendo l'uso del vetro come elemento strutturale. Se prima il vetro era sinonimo di bellezza ma allo stesso tempo di una ridotta performance energetica, oggi con l'introduzione della doppia pelle si sono risolti molti di questi problemi. Si tratta di uno schermo esterno, una cavità ventilata (l'aria rappresenta il miglior isolante termico), la cui profondità dipende dalle condizioni microclimatiche del contesto in cui è inserito l'edificio, e uno schermo interno. Agendo sulle proprietà ottiche dei materiali si può modificare la quota di radiazione in ingresso e di conseguenza cambiarne le caratteristiche e i comportamenti.

Entrando più nello specifico le migliori tecniche di mitigazione oggi sono quelle che riguardano tetti e pavimentazioni: in particolare cool roofs, green roofs e cool pavements.

3.6.5. Roofs

I tetti nel panorama urbano costituiscono circa il 20-25 % della superficie totale: questo significa che una riduzione delle temperature superficiali degli stessi porterebbe dei benefici diretti ai singoli edifici e indiretti all'intero territorio urbano.

Per raggiungere questo scopo vengono utilizzati nelle coperture dei materiali in grado di riflettere una maggiore quota di radiazione e con un'alta emissività: è il caso dei *cool roofs*. Grazie alle particolari caratteristiche dei materiali raggiungono temperature superficiali inferiori di 28-33 °C rispetto ai materiali tradizionali.

La realizzazione è possibile utilizzando materiali con comportamento selettivo: eccellenti proprietà di riflessione della radiazione visibile e da un'elevata emissività nell'infrarosso.

Rispetto ad un tetto normale (*black roofs*) che può raggiungere temperature prossime agli 85 °C nonostante l'emissività elevata e che riflette solo il 5 % della radiazione, il *cool roof* avrà una temperatura superficiale piuttosto bassa, con elevati valori di albedo e di emissività.

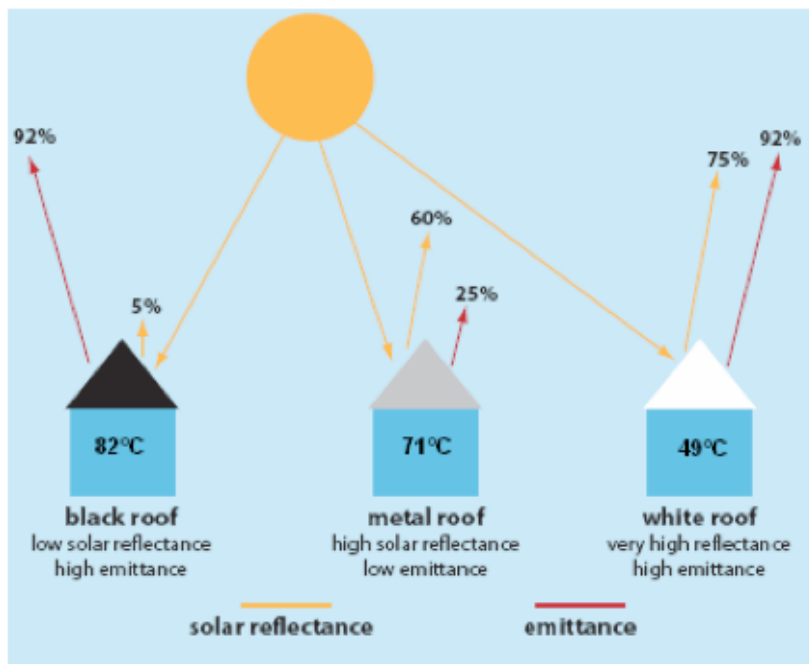


Figura 3.20 - Proprietà riflettenti dei tetti (Fonte: www.google.it)

Entrambe le proprietà infatti influenzano la temperatura di equilibrio di una superficie T_{sur} , che confrontata a parità di radiazione con quella di equilibrio di un materiale nero di riferimento T_{black} (con albedo = 5% e emittività = 90%) e con quella di un materiale bianco standard T_{white} ($a = 80\%$ e $e = 90\%$) ci permette di valutare la capacità del materiale di mantenersi freddo attraverso il coefficiente SRI (SOLAR REFLECTANCE INDEX), definito da Santamouris (2001):

$$SRI = \frac{T_{black} - T_{sur}}{T_{black} - T_{white}} \times 100$$

Materiali con alti valori di SRI sono in grado di raggiungere temperature di equilibrio inferiori rispetto a materiali con SRI inferiori.

Avere un *cool roof* consente un minore trasferimento di calore dal tetto, quindi si avrà una temperatura più confortevole all'interno dell'edificio (nella stagione estiva), limitando così la necessità di un raffrescamento di tipo meccanico.

Un aspetto negativo è rappresentato dai maggiori costi per il riscaldamento durante la stagione invernale a causa della maggior presenza di albedo: per climi temperati e caldi i vantaggi superano comunque gli svantaggi.

Un altro tipo di soluzione mitigante per l'effetto isola di calore è rappresentato dai *green roofs*: nelle situazioni in cui gli edifici sono molti e particolarmente vicini tra loro e la realizzazione di aree verdi risulta così difficile l'idea migliore risulta quella di sfruttare l'ampia superficie urbana occupata dalle coperture per la realizzazione dei cosiddetti tetti verdi, tetti ricoperti da uno strato di vegetazione.

L'uso massiccio dei tetti verdi è considerato da molti studiosi del fenomeno una buona tecnica di mitigazione dell'UHI, per due motivi in particolare: una riduzione dell'albedo e un incremento dei processi di evapotraspirazione permetterebbero di limitare la

temperatura superficiale delle coperture, riducendo il flusso di calore entrante e il riscaldamento dell'aria.

Secondo uno studio del 2008 nella città di Chigaco (Bell e Berghage) la temperatura di un tetto convenzionale risulta di circa 76 °C mentre quella di un *green roof* oscilla tra i 33 °C e i 48 °C.

Rispetto ad altre tecniche di mitigazione questa risulta piuttosto costosa: il tetto infatti è costituito da diversi strati funzionali al funzionamento della copertura. Ogni strato ha un compito ben preciso:

- la membrana impermeabile e la guaina antiradice impediscono il degrado dei materiali sottostanti;
- l'elemento drenante riceve l'acqua in eccesso dal terriccio;
- lo strato filtrante trattiene il terreno di coltura mentre permette il passaggio dell'acqua piovana.

Il tipo di vegetazione presente sui tetti verdi varia in funzione di diversi fattori, come lo spessore dello strato di terriccio, i carichi supportabili dal solaio e il grado di manutenzione che si è disposti ad effettuare.

Queste coperture possono essere divise in due gruppi: tetti verdi intensivi e tetti verdi estensivi.

Quelli estensivi sono caratterizzati da una limitata manutenzione e possono essere realizzati anche con coperture con inclinazione di 30°; la varietà di piante è però limitata in quanto sono necessarie specie resistenti alla siccità.

Quelli intensivi sono molto simili a parchi, possono ospitare qualsiasi tipo di vegetazione ma necessitano di una maggiore manutenzione e irrigazione; inoltre il costo di installazione è maggiore rispetto ad un tetto verde estensivo.

I benefici dati da un *green roof* sono stati dimostrati da un gruppo di studiosi (Lazzarin, Castellotti e Buscato) nel 2004, quando hanno preso in considerazione un ospedale di Vicenza: durante l'estate, in condizioni di terreno secco, il carico termico entrante nell'edificio era inferiore fino al 60 % rispetto ad un tetto tradizionale. In condizione di suolo bagnato invece i processi di evapotraspirazione hanno provocato addirittura l'inversione della direzione del flusso termico.

3.6.6. *Pavements*

Le superfici maggiormente influenzate dalla radiazione solare sono naturalmente quelle orizzontali: coperture (di cui si è già parlato) e pavimentazioni. Sono queste che possono raggiungere le più alte temperature superficiali creando problemi di microclima e di benessere.

La maggior parte dell'area urbana è, infatti, costituita da pavimentazioni di diverso tipo: Ferguson (2008) sostiene che nelle principali città americane la pavimentazione ricopre il 30-45 % dell'area totale.

Il comportamento è pressoché simile agli altri materiali: durante il giorno assorbono ed accumulano energia, durante la notte attraverso i processi di raffreddamento radiativo e convettivo smaltiscono l'energia assorbita.

Come per i tetti si può intervenire sulle proprietà delle pavimentazioni per provare a mitigare l'effetto dell'isola di calore; a differenza del bilancio delle coperture (influenzato da albedo e emissività), quello delle pavimentazioni è più complesso: bisogna considerare elementi come la permeabilità, l'inerzia termica e la convezioni. Tutti questi fattori vanno ad agire sulla temperatura superficiale.

Per cercare di ridurre la stessa si posso usare materiali non convenzionali (asfalto e cemento) in modo da ridurre anche la quantità di calore immagazzinata: è il principio dei *cool pavements*. Sono pavimentazioni che riflettono una maggior percentuale della radiazione solare e possono essere permeabili. Come per i *cool roofs* anche in questo tipo di superfici è l'albedo il fattore che maggiormente influenza la temperatura; solitamente la quota riflessa dai materiali comuni è del 5-40 %, con l'aggiunta di coloranti si può arrivare fino al 75%.

La diffusione di questi pigmenti però è stata ostacolata da problemi di abbagliamento durante la guida e per l'inadeguatezza di un'elevata riflessione in luoghi di stazionamento delle persone.

Gli studi si sono orientati quindi verso la realizzazione di materiali con alte proprietà di albedo ma con una bassa riflessione nel visibile. Lo studioso Santemouris fornisce un esempio di un asfalto all'apparenza tradizionale ma con una temperatura epidermica inferiore di 15 °C, grazie ad una riflessività infrarossa dell'86 % e una visibile solamente del 23 %.

Nei *cool pavements* l'elemento su cui si va ad agire non è l'emissività (in quanto le pavimentazioni tradizionali hanno una capacità di emettere radiazione) ma è l'impermeabilità delle superfici. Questa caratteristica permette la discesa dell'acqua verso il terreno, fondamentale per il raffreddamento evaporativo.

Al contrario, pavimentazioni di tipo poroso (ancora in fase di studio e sperimentazione) limitano il trasferimento di calore verso il sottosuolo a causa della loro struttura: la temperatura superficiale sarà maggiore ma il vantaggio sarà quello di un più basso accumulo termico, il maggior responsabile dell'UHI notturna.

Rispetto ai vantaggi provocati dai *cool roofs* e dai *green roofs* i benefici dei *cool pavements* sono indiretti: per esempio con una buona diffusione di superfici permeabili il deflusso dell'acqua piovana potrebbe diminuire fino al 90 % andando ad influire sui costi di pompaggio.

Ci sarebbero inoltre benefici in termini di qualità della vita urbana: minori temperature superficiali determinerebbero migliori condizioni microclimatiche, la permeabilità delle strade aumenterebbe la sicurezza alla guida e ci sarebbe una diminuzione dell'inquinamento acustico.

3.6.7. Conclusioni

Da quanto detto fino ad ora risulta evidente come il problema isola di calore non può essere affrontato sotto un unico aspetto, perché le cause sono molteplici e di conseguenza anche i rimedi sono di diversa natura. È necessaria una buona interazione e

complementarietà tra le soluzioni previste, una comunità di intenti che di volta in volta riesca a trovare le giuste soluzioni e le giuste tecniche di mitigazione, che naturalmente variano da contesto a contesto.

Elemento fondamentale rimane la partecipazione attiva di tutti, dal cittadino al funzionario di governo: solo così il fenomeno può essere affrontato e mitigato sotto tutti i punti di vista. Esempi come quello del Giappone dimostrano che il coinvolgimento di tutti porta notevoli vantaggi nella pianificazione e nella risoluzione di tali problemi.

3.7. *L'adattamento della città*

Nel capitolo precedente si è fatto riferimento a due aspetti fondamentali della città di particolare importanza negli ultimi anni, quando il global warming ha cominciato a provocare situazioni di pericolo e disagio all'interno dei vari contesti urbani: resilienza e adattamento.

Il primo concetto viene definito come “la capacità dei sistemi integrati ecologici ed umani, di assorbire un disturbo e di riorganizzarsi mentre ha luogo lo stesso cambiamento, garantendo però il mantenimento delle funzioni e delle strutture del sistema stesso”; l'adattamento dei sistemi ecologici, sociali ed economici in risposta agli stimoli climatici attuali o attesi, e ai loro effetti o impatti, si riferisce ai cambiamenti nei processi, nelle pratiche o nelle strutture per attenuare o contrastare i danni potenziali o per avvantaggiarsi delle opportunità associate con i cambiamenti nel clima.

Resilienza e adattamento possono essere considerati complementari: il primo viene definito infatti un adattamento autonomo, il secondo un adattamento pianificato.

L'adattamento della città può e deve divenire quindi uno strumento di contrasto del problema climatico: le città non possono limitarsi a semplici interventi di mitigazione ma devono integrarsi con politiche più ampie di adattamento.

Anche perché il ruolo della città è diventato duplice: con il passare degli anni, infatti, i continui cambiamenti climatici hanno prodotto effetti visibili a tutti sia a livello globale che a livello urbano e la città ne subisce gli effetti (ad esempio l'isola di calore urbana) ma allo stesso tempo rappresenta anche la stessa soluzione al problema. Ed è in questo ambito che gioca un ruolo fondamentale la pianificazione: deve saper gestire le trasformazioni territoriali in modo non solo da prevenire il cambiamento climatico, ma anche da adattare i centri urbani e le aree rurali agli effetti del cambiamento climatico già in atto.

3.7.1. *Politiche di adattamento*

Sebbene il problema climatico sia di primissima importanza nel panorama nazionale ed internazionale, l'Italia purtroppo si trova in ritardo rispetto a molti paesi soprattutto del nord Europa: questo però può essere sfruttato come un vantaggio, si ha a disposizione infatti un ricco patrimonio di studi, esperimenti e metodologie in materia di

adattamento climatico degli insediamenti urbani (che secondo l'ISTAT ospitano il 90 % della popolazione in Italia). L'allineamento a livello europeo è a detta di molti problematico e difficoltoso, ma non impossibile: il tema dell'adattamento climatico sta prendendo sempre più piede all'interno del dibattito scientifico, politico e sociale; inoltre il Patto dei sindaci (il principale movimento europeo che vede coinvolte le autorità locali e regionali che si impegnano volontariamente ad aumentare l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili nei loro territori; attraverso il loro impegno i firmatari del Patto intendono raggiungere e superare l'obiettivo europeo di riduzione del 20% delle emissioni di anidrite carbonica entro il 2020), cui hanno aderito molte amministrazioni locali italiane, ha sviluppato una campagna per la diffusione a scala europea dei Piani di adattamento. Per capire di cosa si tratta è necessario fare un passo indietro.

Nell'aprile del 2013 è stata adottata dalla Commissione Europea la *Strategia europea di adattamento al cambiamento climatico*, che punta a rafforzare il livello di preparazione e capacità di reazione agli impatti del cambiamento climatico. Tutti gli stati membri dovranno quindi adottare una propria strategia nazionale e individuare delle priorità a livello nazionale e locale, sostenendo le città nel percorso verso il proprio *Piano di adattamento ai cambiamenti climatici*. 17 stati hanno già approvato la propria strategia, l'Italia è alle ultime fasi di consultazione.

Così tutte le città che hanno aderito al Patto dei sindaci hanno prodotto dei *PAES* (Piani d'azione per l'energia sostenibile) mirati principalmente sulla riduzione dell'anidrite carbonica, lasciando in secondo piano temi come la resilienza e l'adattamento.

Per far sì che prendano piede all'interno delle città delle politiche di adattamento, è nata una rete sui cambiamenti climatici grazie a dei progetti di alcune città: l'idea è quella di confrontarsi utilizzando le varie esperienze, mettendo a disposizione conoscenze tecniche e gestionali. Tra questi i principali sono:

- Ancona (progetto Life Act): è stato elaborato un Piano di adattamento con caratteristiche particolari (zone franose all'interno di una città costiera);
- Bologna (progetto Life Blue Ap) ha come obiettivo quello di realizzare linee guida per la definizione di Piani di adattamento per città con caratteristiche simili al capoluogo emiliano;
- Padova e Alba: entrambe hanno partecipato al progetto della Comunità Europea *Eucities Adapt*, che aveva come obiettivo finale quello di formare un gruppo di città europee sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici; questo lavoro è stato molto utile per fornire una metodologia di lavoro e materiali utilizzabili a diverse città italiane.

L'aspetto urbano dell'adattamento climatico diventa quindi l'obiettivo di maggior importanza perché rappresenta il segmento più recente del processo di estensione del significato di *Governo del territorio* (un insieme di attività conoscitive, di tutela e di valorizzazione delle componenti ambientali, di programmazione, di valutazione e di

monitoraggio). Sono necessari però dei presupposti per impostare un'azione in materia di adattamento climatico all'interno di un comune, quali ad esempio:

- una conoscenza di quali cambiamenti climatici ci siano e ci si debba aspettare a livello locale;
- conoscere la vulnerabilità climatica di ciascun nucleo urbano o meglio delle diverse parti di una stessa realtà.

La previsione di quali possono essere i cambiamenti climatici risulta comunque molto difficile, sia perché ci sono grandi incertezze nelle proiezioni climatiche di lungo periodo, sia perché queste proiezioni riguardano zone molto ampie e per stimare fenomeni locali occorre operare un *downscaling* che necessita di competenze molto specialistiche.

Lo studio della vulnerabilità viene chiamato *resilience study*, ed è composto da diversi tipi di passaggi piuttosto settoriali, che richiedono la disponibilità di un patrimonio di informazioni la cui acquisizione è piuttosto lunga e complessa, oltre che costosa.

Tutte queste conoscenze portano alla redazione del Piano di adattamento, che come molti strumenti di governo necessiterà di condivisioni interistituzionali (*Multilevel governance*), della partecipazione dei cittadini alle scelte, della programmazione delle risorse utili. Tale processo di redazione del piano è molto lungo, e servono ottime competenze e grandi risorse.

Per ovviare questo problema si è pensato ad un *Piano di adattamento speditivo*, in grado cioè di intervenire nel breve periodo; uno strumento in grado di assicurare un primo orientamento alle azioni di adattamento che man mano verrà perfezionato con l'utilizzo di informazioni maggiori che ne consolidino nel tempo completezza e affidabilità.

L'idea di un piano speditivo nasce da diverse considerazioni:

1. i mutamenti climatici non sono altro che la manifestazione tangibile e quindi l'amplificazione di criticità pregresse: criticità che, in parte, sono già note o comunque determinabili tramite strumenti (GIS, sistemi urbanistici comunali etc) e che, analizzate e studiate in maniera approfondita, possono aiutare alla redazione di una carta della vulnerabilità, che ha come scopo quello di evidenziare le componenti dell'insediamento che prevedibilmente subiranno gli effetti maggiori dei mutamenti climatici, e che permette quindi di andare a definire azioni per circoscriverli o eliminarli;
2. molte azioni di adattamento climatico che sono presenti all'interno dei Piani di adattamento hanno natura *no regret*: non solo hanno benefici sul lungo periodo, ma hanno effetti positivi anche nell'immediato (come l'incremento del verde urbano per contrastare il fenomeno isola di calore);
3. alcune azioni di adattamento climatico sono praticamente a costo zero e non richiedono risorse aggiuntive, ma solo una maggiore consapevolezza nelle scelte, in modo da incorporare la dimensione climatica negli ordinari strumenti di pianificazione e programmazione.

Il piano di adattamento speditivo può quindi consentire, in tempi ragionevolmente brevi, di fare passi in avanti in materia di adattamento climatico degli insediamenti urbani.

4. Casi di studio

Le problematiche legate agli effetti dovuti all'isola di calore hanno ricevuto particolare attenzione soprattutto all'estero, in città come Montreal, Toronto, Londra, Manila e Stoccolma, le quali hanno promosso diverse iniziative attuando modelli di controllo del problema. Tra le più importanti:

- Green compact cities inglesi, con lo scopo di ridurre l'occupazione estensiva delle zone di campagna;
- il progetto "Build the city inwards" a Stoccolma;
- il controllo della pianificazione urbana attraverso l'indicatore rappresentato dall'Ecological footprint a Toronto;
- azioni coordinate per la mitigazione dell'isola di calore a Tokio.

Nonostante l'Italia mostri ancora poco interesse verso il problema, salvo alcune esperienze locali di scarso impatto sull'ambiente, alcuni studiosi hanno realizzato un interessante esperimento su diverse città italiane: il primo caso preso in considerazione è quello di Modena.

4.1. *Rilevamento dell'isola di calore a Modena*

Un caso di studio riguardante l'isola di calore è stato effettuato nella città di Modena nel periodo tra ottobre 2004 e settembre 2005: in questo lasso di tempo sono stati raccolti diversi dati, successivamente confrontati con quelli della stazione di Albareto (una frazione di Modena situata a nord della città).

Il caso di studio seguente ha il solo scopo di rilevare e mostrare le differenze di temperature tra zona urbana e zona rurale con il conseguente formarsi del fenomeno dell'isola di calore.

La stazione di Modena è una delle dieci stazioni facenti parte della rete meteorologica urbana dell'Emilia Romagna. È composta da:

- un anemometro (strumento che misura la velocità o la pressione del vento);
- un termo-igrometro (strumento che misura l'umidità relativa dell'aria);
- un pluviometro (strumento che misura la quantità di pioggia caduta);
- un barometro (strumento che misura la pressione atmosferica);
- un radiometro (strumento che misura il flusso della radiazione elettromagnetica emesso da una superficie o da un oggetto per effetto della sua temperatura, ovvero della sua radianza).

La stazione è stata posizionata sul tetto di un edificio in Via Santi 40.



Figura 4.1 - La città di Modena nella cartina geografica (Fonte: www.google.maps.it)

La scelta non è stata casuale: si è cercato di rispondere alla necessità di misure anemometriche non influenzate dalle disomogeneità morfometriche del terreno tipiche delle aree urbane.

L'obiettivo di tali misurazioni è stato quello di ottenere dati al di sopra dello strato di rugosità (di cui si è già parlato nei capitoli precedenti); purtroppo le misure di temperatura e umidità non sono immuni dalle perturbazioni dovute agli scambi termici dell'edificio stesso con l'atmosfera e alle caratteristiche di impermeabilità del tetto su cui la stazione è posta.

Inoltre la temperatura e l'umidità non possono essere ipotizzate a priori al livello della strada, in quanto è probabile che l'aria sopra il tetto sia più secca e soggetta ad escursioni termiche maggiori rispetto all'aria al livello delle strade. È questo uno dei grandi problemi delle realtà urbane: la struttura termo-igrometrica può presentare delle forti disomogeneità.

4.1.1. *I dati ottenuti*

Di seguito si riportano i grafici riguardanti la differenza di temperatura tra la stazione urbana di Modena e la stazione rurale di Albareto nel trimestre giugno-luglio-agosto 2005. Per ciascuna ora della giornata sono riportati minimo, massimo, primo e terzo quartile e mediana.

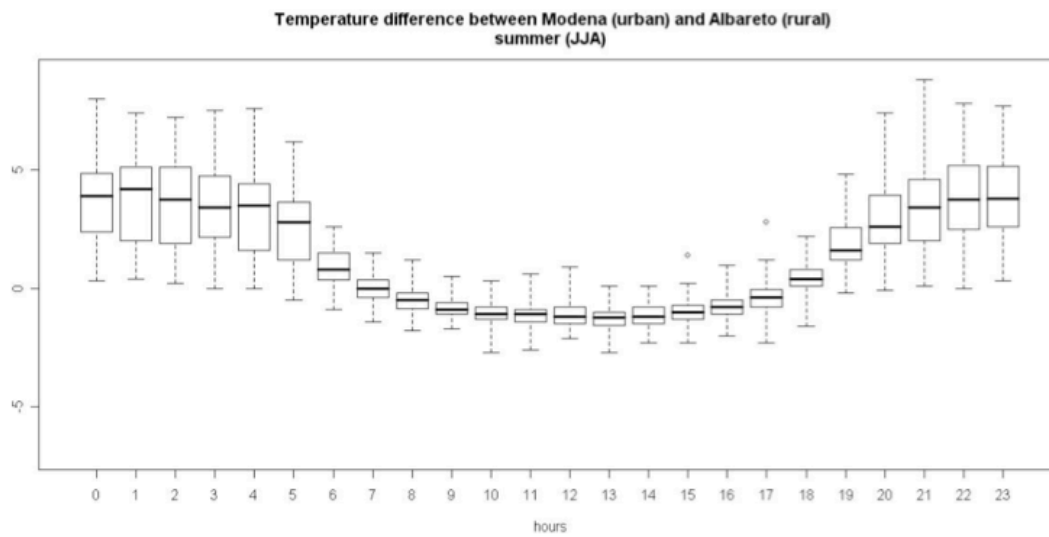


Figura 4.2 - Differenze di temperature tra centro città e zona rurale (Fonte: Microcima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè 2006)

L'immagine seguente mostra invece le distribuzioni di frequenza delle differenze di temperatura tra la stazione urbana di Modena e la stazione rurale di Albareto nei trimestri giugno-agosto 2005 e dicembre 2004-febbraio 2005, distinte questa volta per fasce orarie diurna (7:00-15:00) e notturna (19:00-3:00).

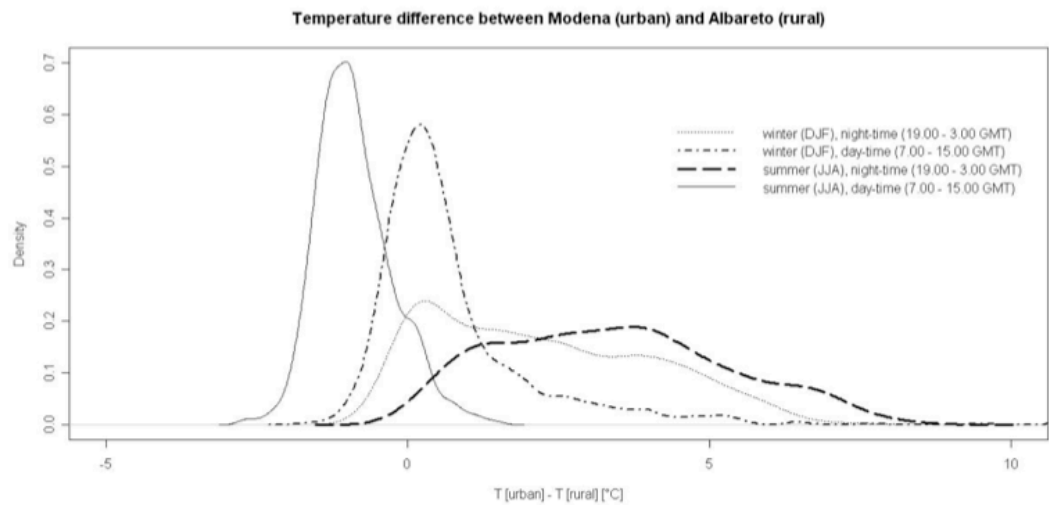


Figura 4.3 - Differenza di temperatura tra Modena e Albareto tra il 2004 e il 2005 (Fonte: Microcima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè 2006)

L'ultimo grafico riguarda la differenza di umidità relativa tra le due stazioni. La figura mostra le distribuzioni di frequenza delle differenze di umidità relativa tra le stazioni di Modena e quella di Albareto negli stessi intervalli temporali della precedente immagine.

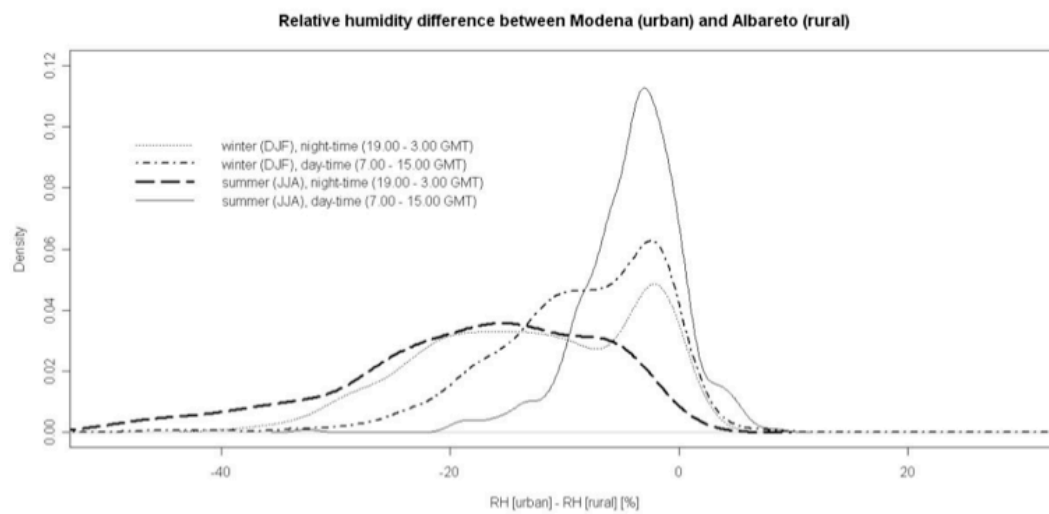


Figura 4.4 Differenza di umidità relativa tra Modena e Albareto (Fonte: Microcima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione, Bonafè 2006)

4.1.2. *Conclusioni*

Partendo da tutte queste considerazioni l'analisi svolta mostra alcuni dati interessanti: l'area urbana risulta spesso più calda e secca rispetto alle aree rurali circostanti. I salti termici più evidenti si manifestano la notte (tra i 2°C e i 5°C, arrivando a volte fino a 8°C) nelle stagioni estive. Come già detto in precedenza, anche in questa zona durante il giorno l'effetto isola di calore si annulla.

Un altro dato significativo è la differenza di umidità tra giorno e notte (tipicamente tra -10% e -40%).

4.2. *Un'area urbana di piccole dimensioni: Nonantola*

Il caso di Nonantola, un piccolo paese dell'Emilia Romagna in provincia di Modena, risulterà molto significativo ed esplicativo. Nonantola si trova in un territorio pianeggiante a nord-est di Modena (come mostrato in figura), ed è caratterizzato da una popolazione di circa 13000 abitanti.

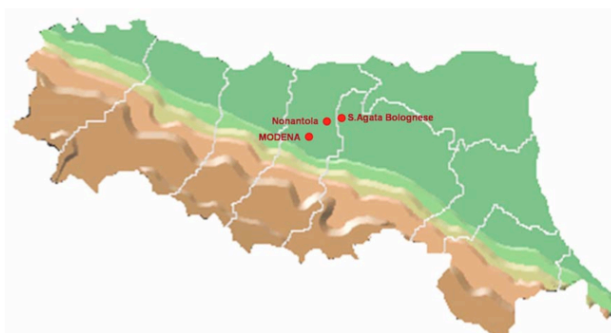


Figura 4.5 Posizione geografica di Nonantola (Fonte: Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni, ARPA Emilia Romagna)

4.2.1. Modalità di raccolta dati

I dati sono stati raccolti nel periodo dal 26 luglio al 16 ottobre, posizionando un termo-igrometro in posizione centrale rispetto al territorio urbanizzato. Per la precisione è stato collocato nel centro storico del paese su una fiancata dell'abbazia ad un'altezza di circa 7 metri in posizione tale da non essere esposto all'insolazione diretta. Sono state usate inoltre delle centraline di confronto con cui confrontare successivamente i risultati, posizionate a S. Agata Bolognese (in una zona rurale a circa 20 km da Nonantola) e a Modena (su un edificio a 30 metri dal suolo, a circa 15 km da Nonantola).



Figura 4.6 - Posizione del termo-igrometro su un lato dell'abbazia(Fonte: Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni, ARPA Emilia Romagna)

4.2.2. Risultati e dati raccolti

I risultati raccolti nelle tre diverse zone vengono illustrati con dei grafici da cui si possono trarre alcune considerazioni importanti.

Viene preso in considerazione anche l'indice di Thom, chiamato anche Discomfort index (DI), considerato uno dei migliori indici di stima della temperatura effettiva. Questa è definita come un indice arbitrario che combina l'effetto della temperatura, dell'umidità e del movimento dell'aria sulla sensazione di caldo e freddo percepito dal corpo umano. Inoltre la temperatura effettiva tiene conto della temperatura di bulbo umido e di bulbo asciutto.

Quello che mostra quest'indice è la condizione di disagio fisiologico dovuto al caldo-umido ed è sensibile in un intervallo termico compreso tra i 21°C e i 47°C. Fuori da questo intervallo l'indice attribuisce sempre la condizione fisiologica alle classi estreme,

cioè “benessere” per temperature inferiori a 21°C e “stato di emergenza medica” per temperature superiori a 47°C.

L'indice viene così calcolato:

$$DI = 0,4 \times (Ta + Tw) + 4,8$$

con

Ta = temperatura di bulbo asciutto

Tw = temperatura di bulbo umido.

Di seguito sono illustrati i grafici.

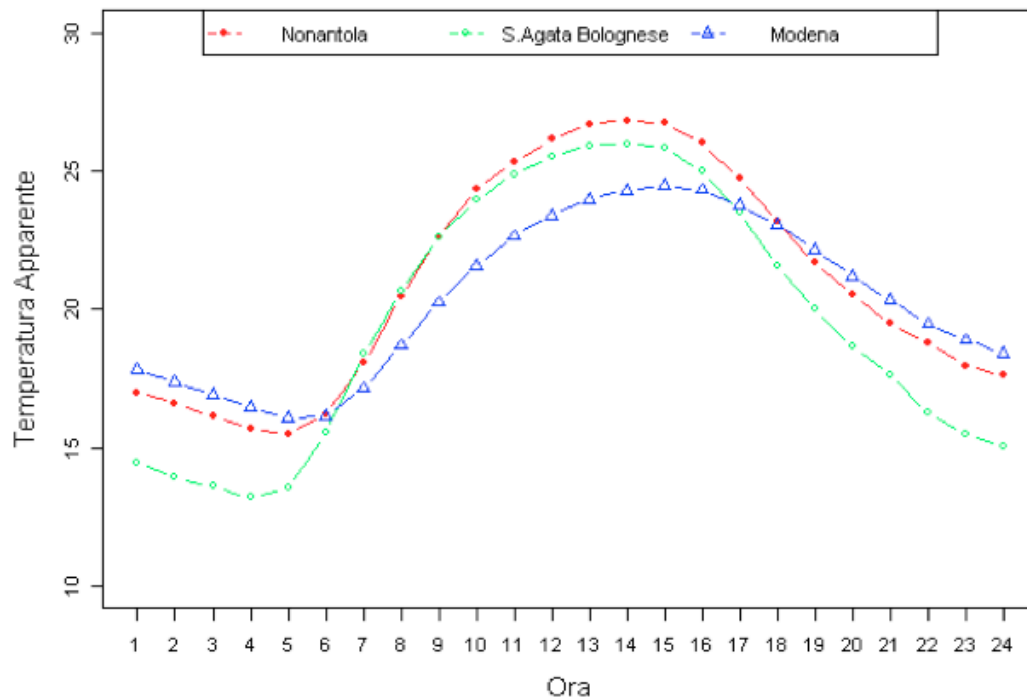


Figura 4.7 – Andamento medio della temperatura apparente (Fonte: Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni, ARPA Emilia Romagna)

I primi due grafici mostrano l'andamento della temperatura apparente e dell'indice di Thom durante il periodo di studio.

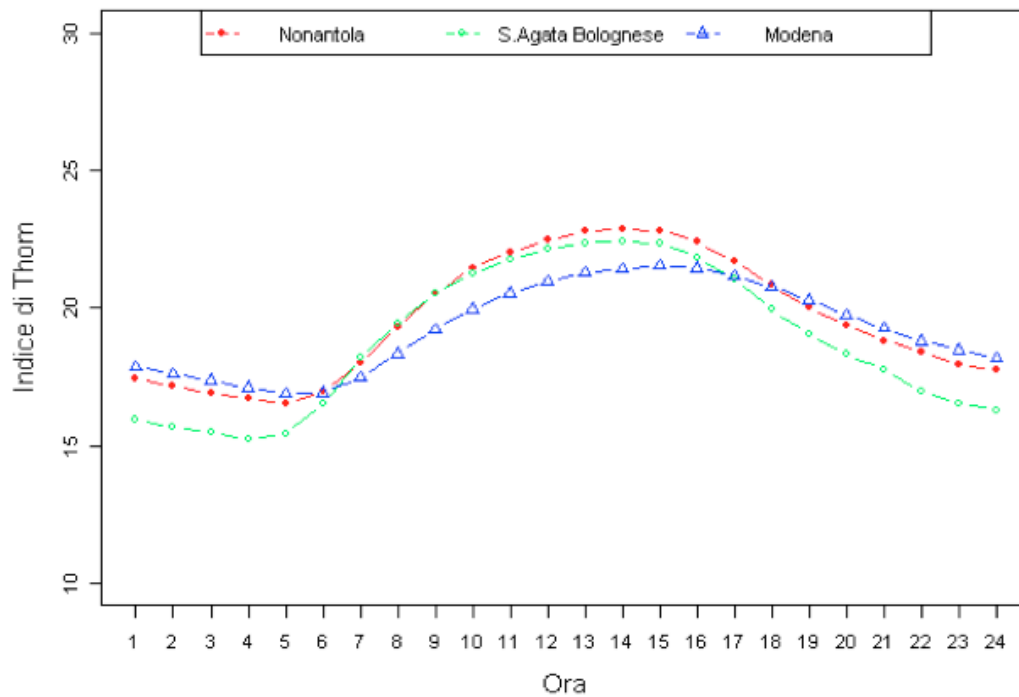


Figura 4.8 - Andamento medio dell'indice di Thom (Fonte: Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni, ARPA Emilia Romagna)

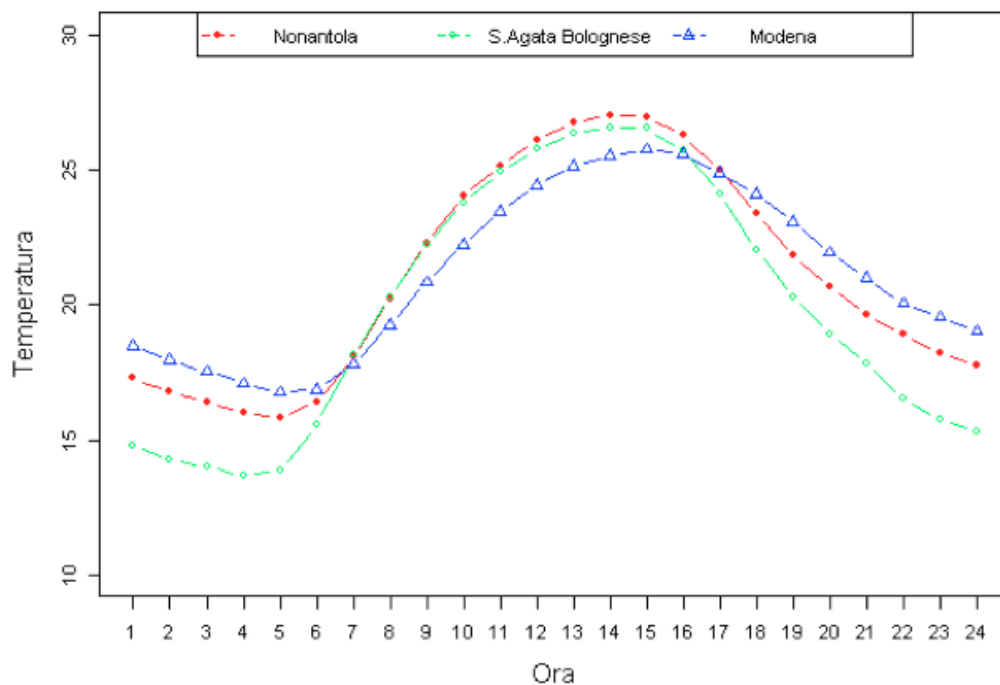


Figura 4.9 - Andamento medio della temperatura (Fonte: Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni, ARPA Emilia Romagna)

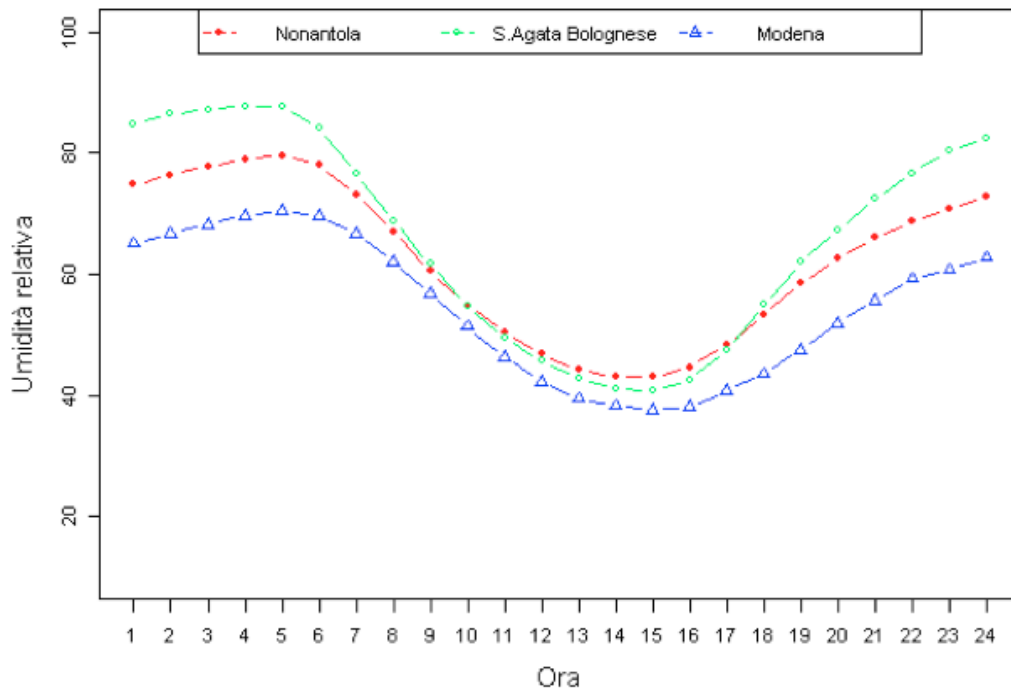


Figura 4.10 - Andamento medio dell'umidità relativa (Fonte: Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni, ARPA Emilia Romagna)

Quest'ultimi mostrano invece l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa durante periodo di studio.

Possono essere fatte alcune considerazioni in base ai dati raccolti.

Dai grafici si nota come nelle ore notturne le condizioni bioclimatiche sono marcatamente peggiori (di circa 3°C rispetto alla temperatura apparente e di circa 2°C per quanto riguarda l'indice di Thom) nella stazione posta a S. Agata Bolognese rispetto al sito urbano di Modena (i dati riguardanti Nonantola sono molto simili a quelli di Modena); durante il giorno invece le condizioni bioclimatiche peggiori si riscontrano proprio nel piccolo paese di Nonantola (anche S. Agata Bolognese mostra un comportamento simile) mentre Modena gode di buone condizioni bioclimatiche.

Gli andamenti della sola temperatura sono molto simili a quelli della temperatura apparente, seppur con differenze più contenute tra le diverse stazioni nelle ore centrali del giorno.

Per quanto riguarda l'umidità relativa c'è una coincidenza dei livelli tra Nonantola e S. Agata Bolognese durante il giorno, mentre di notte la differenze tra le stazioni si accentuano con la stazione di S. Agata Bolognese caratterizzata da valori di umidità relativa di circa il 10% maggiori rispetto a quelli di Nonantola, a sua volta caratterizzati da livelli di circa 10% superiori rispetto a quelli di Modena.

4.2.3. *Conclusioni*

Lo studio su questo piccolo paese e il confronto con i dati raccolti nelle stazioni di Modena e S. Agata Bolognese ha mostrato il ruolo non trascurabile dell'isola di calore anche per un'area urbana di piccole dimensioni.

Nonostante le sue modeste dimensioni (circa 13000 persone) i dati raccolti hanno mostrato la formazione dell'isola di calore. La spiegazione è data dall'agglomerato urbano assimilabile per tipologia urbanistica a molti altri della penisola italiana. Anche in questo caso la struttura urbana ha giocato un ruolo fondamentale e predominante per l'innalzamento della temperatura in ambito urbano.

5. La vegetazione come strumento di mitigazione

Il verde può essere considerato uno degli strumenti migliori per la mitigazione del microclima urbano, soprattutto se coadiuvato con altri tipi di strumenti (come le proprietà dei materiali).

Per capire come la presenza di verde all'interno del contesto urbano favorisca la mitigazione dell'isola di calore è necessario riprendere il bilancio di energia.

Il calore sensibile H è il principale colpevole delle sofferenze dei cittadini: è infatti la grande quantità di questa energia a dare problemi fisiologici principali. Un esempio può essere rappresentato da una superficie nuda di asfalto sotto i raggi solari: tutta l'energia ricevuta si trasforma proprio in calore sensibile, perché in quelle condizioni l'unico processo di partizione possibile è la trasformazione di tutta l'energia radiante in calore sensibile. Per far sì che tale termine diminuisca è necessario introdurre dei processi in grado di sottrarre energia, in modo da percepire meno disturbo: uno di questi processi è l'evapotraspirazione, che costituisce uno degli aspetti più importanti per il controllo del microclima urbano. Con l'aggiunta di piante o comunque di verde parte dell'energia si trasforma in λE (calore latente) mediante propri meccanismi fisiologici.

Questo perché il verde usa la radiazione solare per la fotosintesi, cioè il processo fisico-chimico base della crescita vegetale. La radiazione incidente sulla vegetazione viene usata in maniera differente: una parte viene assorbita dal processo fotosintetico, la maggior parte viene riflessa, trasmessa e riemessa sotto forma di calore sensibile e latente (evaporazione).

Per meglio capire le quantità viene utilizzato un breve esempio dimostrativo. Sul 100% di radiazione incidente queste sono le percentuali:

- 20 % viene riflessa;
- meno del 5 % è assorbita per la fotosintesi;
- 65 % viene assorbita e rimessa come calore sensibile e latente (per evapotraspirazione)
- 10 % viene trasmessa.

La trasmissione della radiazione visibile nella massa vegetale dipende da diversi fattori, come le proprietà radianti, la densità e la disposizione spaziale delle foglie e della struttura del tronco e dei rami. Più densa è la vegetazione più energia viene assorbita dalla massa vegetale.

La traspirazione invece dipende dalle condizioni ambientali (radiazione, umidità e presenza di acqua nel terreno) che condizionano la circolazione di acqua nelle piante. Oltre che per traspirazione le piante dissipano calore anche per evaporazione dal terreno e dalle foglie. Questi due processi sono chiamati evapotraspirazione: l'acqua per evaporare utilizza il calore dell'aria diminuendone la temperatura.

Inoltre l'evapotraspirazione dell'acqua, permettendo il trasferimento di anidride carbonica atmosferica ai siti di carbosilazione nella foglia, consente che si mantenga una fotosintesi positiva e che la vegetazione prelevi carbonio dall'atmosfera contribuendo nel bilancio di questo elemento importante nell'effetto-serra. La chioma

di un albero situato in città immobilizza tra i 5 e i 11 kg di anidride carbonica grazie alla propria attività fotosintetica favorendo un risparmio di circa 18 kg di carbonio all'anno sui consumi per la climatizzazione.

Un altro importante aspetto legato alla vegetazione è la copertura complessiva, cioè la porzione di area occupata da chiome vegetali, erbacee e arboree vista dall'alto.

Un'applicazione diretta è quella dei cosiddetti tetti giardino (*green roof*): si tratta di apprestare spazi verdi sui tetti degli edifici urbani. Questa soluzione porta a diversi vantaggi:

- protegge dal calore estivo;
- funge da effetto isolante in inverno;
- riduce il carico che grava sulla rete di smaltimento delle acque piovane;
- produce un miglioramento del microclima circostante;
- protegge i materiali strutturali del tetto;
- attenua il rumore (fungendo da isolante acustico).

Un altro elemento importante per il controllo del microclima è il vento: esso riduce la differenza di temperatura nell'ambiente e riesce a dissipare il calore dalle persone e dagli edifici.

Il vento è un fenomeno che si crea per differenza di pressione atmosferica (dovuta alla differenza di temperatura) che porta ad un movimento delle molecole dell'aria. Il controllo dei flussi e delle brezze, integrato ad un buon utilizzo della vegetazione, è uno dei modi più antichi per modificare il clima e migliorare il comfort a livello urbano.

Il vento, infatti, può essere alterato in maniera significativa dalla vegetazione e in generale dai diversi elementi presenti nel contesto della città. La presenza di vegetazione (giardini, parchi, cortili) negli spazi urbani crea, nelle stagioni calde, delle brezze termiche in quanto produce un salto termico tra zone calde (senza vegetazione) e zone più fresche (grazie alla presenza di aree verdi). Non servono grandi salti di temperature: anche una piccola differenza di 2 °C può formare delle micro brezze con basse velocità dell'aria ma comunque significative soprattutto nelle giornate più calde. Naturalmente gioca un ruolo importante la morfologia del territorio (di cui si è già parlato) per far sì che tali brezze siano utili a diminuire l'isola di calore.

5.1. *I parchi*

Alla luce di tutti questi elementi si capisce perché la diffusione di parchi, giardini, cortili sia molto importante per mitigare il fenomeno: abbassano le temperature superficiali, creano zone d'ombra e innescano quel processo di evapotraspirazione che crea maggior flusso latente, a vantaggio di una temperatura dell'aria più bassa.

Diversi studi hanno dimostrato il potere di raffrescamento dei parchi o comunque di zone con vegetazioni nell'ambiente urbano: ma la dimensione del verde influisce? Fino a che distanza l'effetto della vegetazione è percepibile?

Uno studio del 1994 di Spronken-Smith sui parchi urbani del Nord America afferma che “l’influenza del parco è limitata entro una zona pari circa alla larghezza del parco stesso”; altri studi compiuti da Honjo e Takakura, nel 1990-1991 in Giappone hanno dimostrato, grazie a simulazioni matematiche, che “per i raffreddamento delle aree urbane sono efficienti anche diverse piccole aree verdi, se sufficientemente separate tra loro”.

Viene preso ora in considerazione uno studio compiuto sulla città di Firenze, il quale mostra l’effetto della vegetazione sul clima urbano in base all’estensione dello stesso.

5.2. *Il caso di Firenze*

lo studio, chiamato “Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell’isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze” è stato redatto e svolto da diverse persone facenti parte di Facoltà di Università e del Centro interdipartimentale di bioclimatologia.

Come detto nel paragrafo 2.7.2 il verde urbano è una delle soluzione per la mitigazione dell’isola di calore urbana a causa della sua diversa inerzia termica e della funzione di albedo che ricopre. Partendo da questi presupposti è stata presa in considerazione la città di Firenze, in Toscana, che un’estensione di 102,41 km² e una popolazione di circa 375000 abitanti. Si trova in posizione particolare: è circondata da colline e montagne a Nord, Sud e Est mentre a Ovest inizia una pianura che si estende fino alle città contigue (Sesto Fiorentino, Prato e Pistoia). Il clima è continentale temperato, caratterizzato da estati secche e molto calde ed inverni molto rigidi; le stagioni intermedie sono molto piovose, come si può vedere nell’immagine seguente.

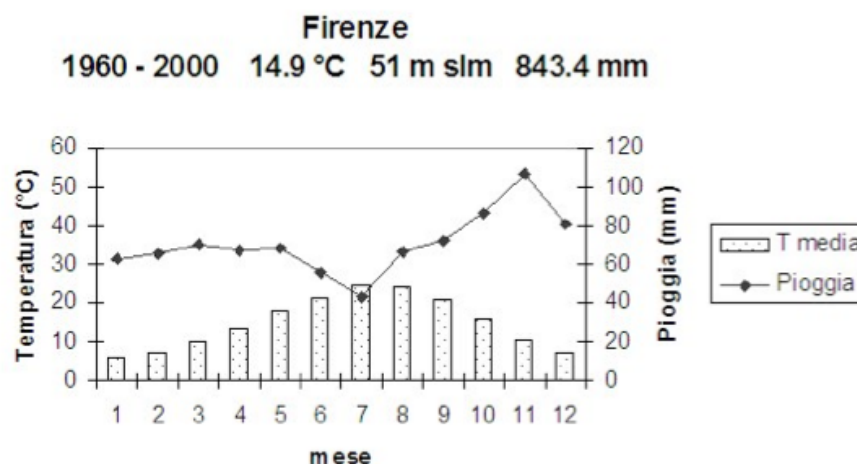


Figura 5.1 - Andamento della temperatura e della piovosità a Firenze (Fonte: Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell’isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze, Università studi di Firenze)

Per lo svolgimento e la realizzazione dello studio la città è stata divisa in quattro fasce concentriche, ognuna con diversa distanza dal centro e caratterizzate da una diversa densità abitativa (calcolata attraverso l'ultimo censimento edifici svolto nel 2001 dal Comune di Firenze). I parametri presi in considerazione per vedere l'effetto mitigante delle zone verdi sulla temperatura dell'aria sono state tre:

- distanza dal centro città;
- numero degli edifici;
- altezza media degli edifici.

L'Ufficio di Statistica del Comune di Firenze ha suddiviso il territorio in 72 aree omogenee alla quali ha attribuito i dati del censimento degli edifici del 2001: è stato quindi elaborato il numero di edifici ed il numero di piano degli edifici presenti in ogni area estraendo un valore medio in base alla superficie. La densità di edifici del capoluogo toscano varia da 26 a 1800 per km², con un'altezza media tra i 1,5 e i 3,7 piani.

Com'era ipotizzabile, dal censimento è emerso che la maggiore densità di edifici si ha nel centro della città e man mano diminuisce allontanandosi verso le fasce esterne; le zone limitrofe invece sono caratterizzate da edifici con maggior numero di piani, seguite dal centro storico. Il valore più basso di numero di piani per edificio si registra nelle zone di prima periferia e nelle zone più esterne (<2,5 piani).

Come si vede dall'immagine la città non è omogenea, ma è orientata sulla linea est ovest, di conseguenza le fasce divisorie avranno forma ellittica con asse principale sulla direttrice est-ovest. Le 4 fasce saranno state così chiamate:

- centro uno – CI
- centro due – CII
- fuori uno – FI
- fuori due – FII

Tra le ultime due fasce non cambia il numero medio di piani ma solo la distanza dal centro ed il numero di edifici per km².

5.2.1. *Metodologia di lavoro*

Per raccogliere i dati e analizzarli sono stati posizionati dei sensori di temperatura dell'aria nelle quattro fasce di riferimento in tre tipi di contesto: strada, giardino e cortile. Per cortile si intende una piccola area verde di dimensioni ridotte (< 500 m²).

Nella fascia FII non è stato possibile posizionare i sensori sulla strada e nei cortili.

In totale quindi 18 stazioni, poste a due metri dal suolo in modo da cogliere l'influenza delle strutture artificiali e naturali sulla variazione di temperatura dell'aria.

I dati sono stati raccolti all'inizio di Maggio 2005, in modo da evidenziare le risposte della città in occasione del primo caldo.

Oltre a confrontare l'andamento della temperatura in relazione alla distanza dalla città o alla presenza o meno di verde, si è fatta particolarmente attenzione alle temperature nelle ore serali (tra le 18 e le 24) e nelle prime ore della mattina (tra le 4 e le 10) in

condizioni di cielo sereno: la presenza di nuvolosità, infatti, tende ad omogeneizzare i valori di temperatura sul territorio.

Per valutare l'effetto mitigante delle aree verdi è stato preso in considerazione anche l'indice Park Cool Island (PCI), proposto da Spronken-Smith e Oke nel 1998, sia per i giardini (PCI_giardino) che per i cortili (PCI_cortile).

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

con T_{a_u} = temperatura dell'aria registrata in ambiente stradale;

T_{a_p} = temperatura dell'aria rilevata in area verde (cortile o giardino).

5.2.2. *Risultati e considerazioni*

Lo studio fatto sulla città di Firenze ha portato a risultati interessanti e che possono sicuramente essere d'aiuto per una buona pianificazione urbana nell'ambito della mitigazione degli effetti dovuti alla "cappa" di calore nel contesto urbano.

Innanzitutto ha dimostrato una relazione tra le temperature medie giornaliere con la distanza da centro: soprattutto nelle stazioni poste nello stesso ambiente, in questo caso quello stradale, si nota che tra le due fasce centrali (CI e CII) la differenza di temperatura media giornaliera non è così evidente, mentre nella fascia leggermente più esterna (FI) la temperatura registrata è sempre più bassa di un grado centigrado di quella nelle fasce più centrali. Questo significa che la temperatura dell'aria, in strada, è influenzata sia dalla distanza dal centro città che dal numero e dall'altezza degli edifici presenti.

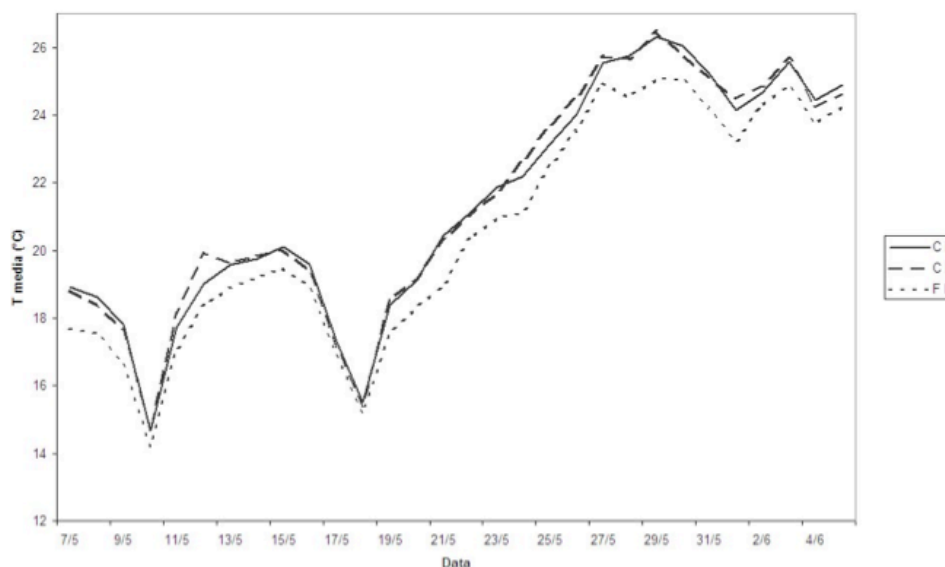


Figura A

Le prime due fasce, infatti, sono caratterizzate da un numero maggiore di edifici e di piani per edificio. Dal grafico si nota inoltre che la temperatura media giornaliera nella fascia CII a volte è più alta di quella nella fascia CI, forse perché questa è più influenzata dal numero di edifici più alti che dalla distanza dal centro della città. Alcuni autori hanno ipotizzato un legame tra lo [sky view factor \(SVF\)](#) e la temperatura dell'aria in ambiente urbano, altri hanno dimostrato che sia i parametri dell'uso del suolo che lo SVF sono importanti per la variazione spaziale della temperatura dell'aria in ambiente urbano.

I dati raccolti nei cortili sono di facile interpretazione: la temperatura media giornaliera registrata tende a essere simile in tutte e tre le fasce più vicine al centro. Non influisce quindi né la distanza dal centro né il numero degli edifici.

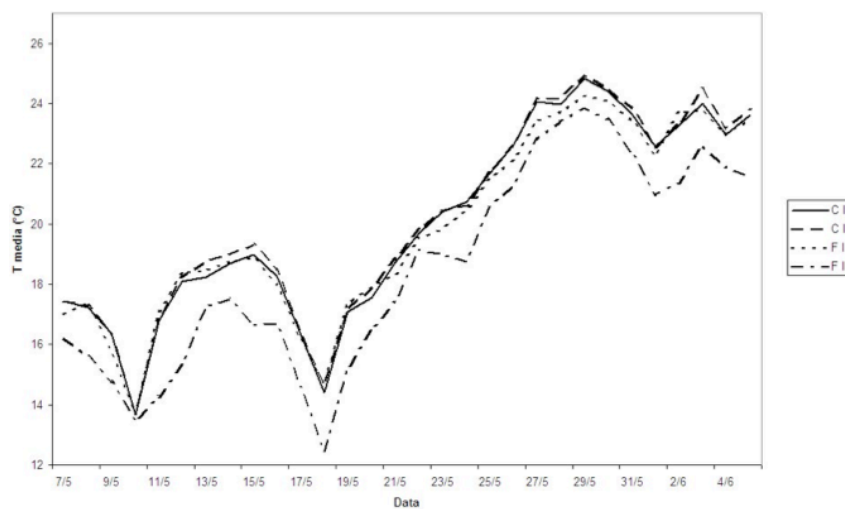


Figura B

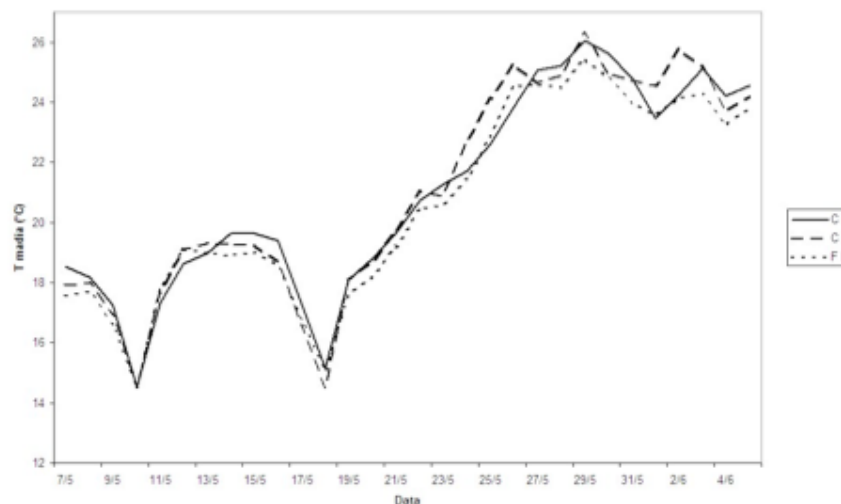


Figura C

Figura 5.2 – Andamento della temperatura media giornaliera registrata in stazioni poste nelle diverse fasce su strada (Fig. A), cortile (Fig. B), giardino (Fig. C) (Fonte: Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze, Università studi di Firenze)

Più interessante il dato raccolto nei giardini: si nota una notevole differenza tra la temperatura media giornaliera tra le tre fasce più vicine (CI, CII e FI) e quella più esterna (FII). Il delta è di circa 1 °C ed è pressoché costante; la fascia FII è caratterizzata da un numero molto più basso di edifici per km² e di conseguenza ha un maggior numero di zone verdi rispetto al costruito.

Per quanto riguarda i confronti effettuati tra le stazioni posizionate nella stessa fascia, la differenza di temperatura nei tre ambienti (strada, cortile e giardino) è più evidente di quanto visto in precedenza per le diverse fasce della città.

In tutte e tre le fasce (CI, CII e FI) le temperature medie più alte registrate sono quelle in ambiente stradale, seguite da quelle nei cortili e infine da quelle nei giardini. Si nota anche che la differenza tra le temperature di strada e cortili è piuttosto bassa in tutte e tre le fasce.

Il ruolo determinante della vegetazione nella mitigazione della temperatura dell'aria nelle città è confermata da un aspetto che emerge da questo studio: 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.

Di seguito i grafici che mostrano le temperature rilevate (in ordine):

- fascia CI;
- fascia CII;
- fascia FI.

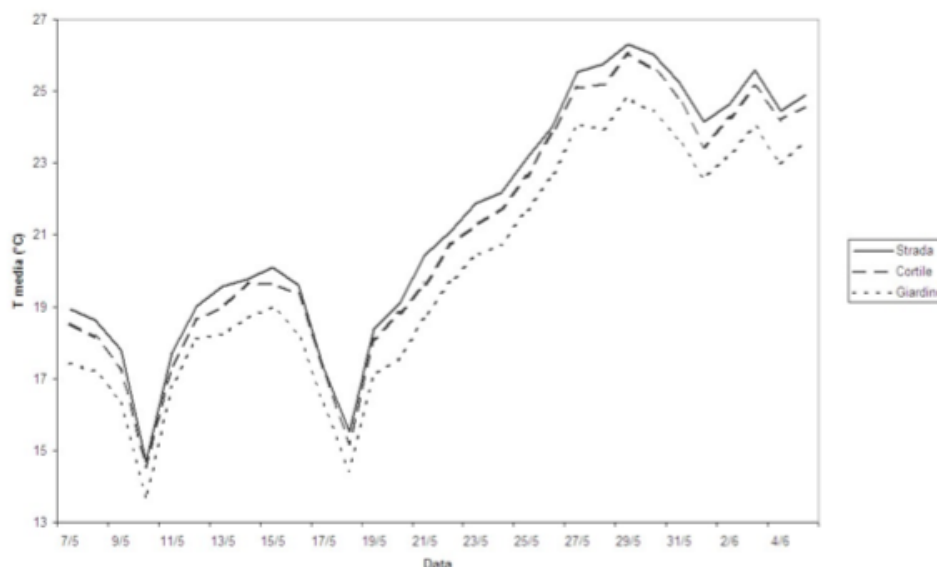


Figura A

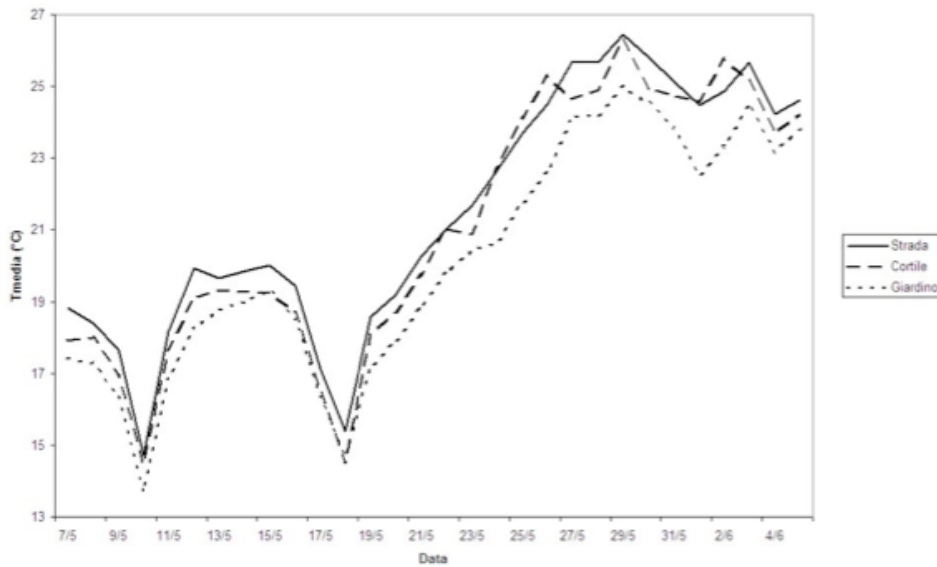


Figura B

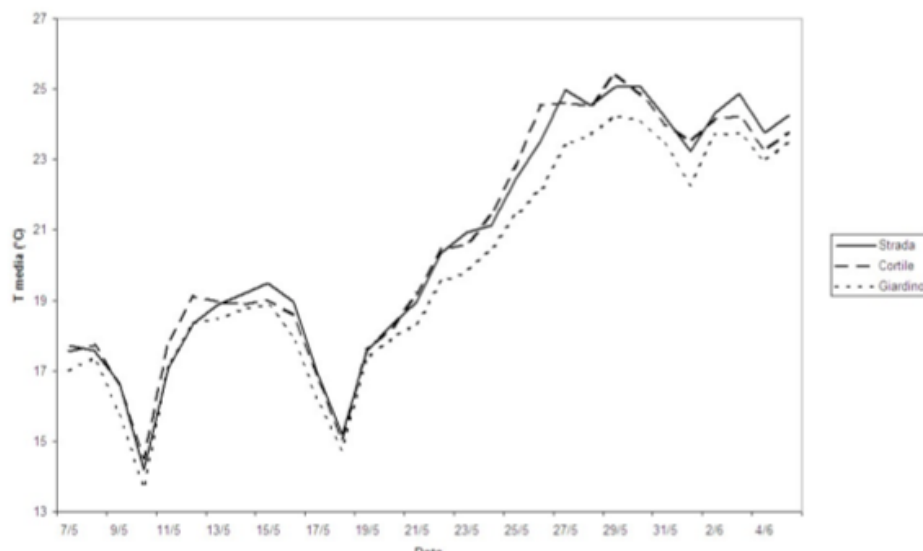


Figura C

Figura 5.3 - Andamento della temperatura media giornaliera registrata in stazioni poste nei tre ambienti appartenenti alla stessa fascia (Fig. A = CI, Fig. B = CII, Fig. C = FI) (Fonte: Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze, Università studi di Firenze)

5.2.3. Relazioni tra temperatura e altre variabili

L'effetto isola di calore urbana e, di conseguenza, l'innalzamento delle temperature all'interno della città può essere correlato e relazionato con altre variabili che dipendono soprattutto dal soprassuolo. Tale relazione risulta meno evidente in presenza di vento a causa del rimescolamento dell'aria all'interno della città (da uno studio di Eliasson e Svensson, 2003). Sono state prese in considerazione giornate serene e senza vento, e

sono stati ricavati i dati delle zone centrali della città (CI e CII), che hanno temperature medie giornaliere più alte rispetto alle altre zone.

In particolare sono stati analizzati i valori medi registrati ogni 10 minuti nelle ore serali, dalle 18 alle 24, l'arco temporale in cui si manifesta l'isola di calore sopra la città a causa dell'effetto [canyon](#).

Col passare delle ore la differenza di temperatura tra la strada e i giardini tende ad aumentare perché nelle aree verdi le temperature diminuiscono più velocemente rispetto al contesto urbano.

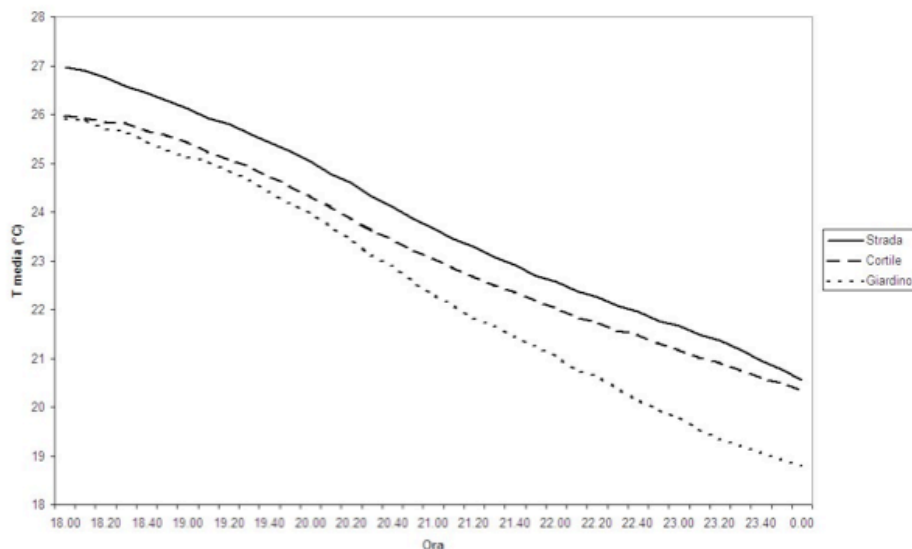


Figura 5.4 - Andamento della media delle temperature registrate ogni 10 minuti in tutte le stazioni appartenenti alle fasce centrali della città (C I e C II), secondo il tipo di ambiente rappresentato (strada, cortile e giardino), durante le ore della sera (dalle 18 alle 24) nei giorni sereni senza vento (Fonte: Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze, Università studi di Firenze)

Come si vede dalla curva nel grafico, prima del tramonto la differenza tra le due stazioni è di circa 1 °C, alle 23 tale differenza è aumentata fino a 2 °C. I cortili hanno un andamento intermedio: prima di sera hanno un comportamento simile ai giardini, col passare delle ore si avvicinano ai valori della strada.

La stessa analisi è stata fatta per un periodo di tempo che va dalle 4 alle 10 di mattina, nelle stesse condizioni meteorologiche: 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. Dopo il sorgere del sole, la temperatura delle zone aumenta molto più velocemente rispetto alla strada a causa della diversa resistenza termica dei materiali che li caratterizzano.

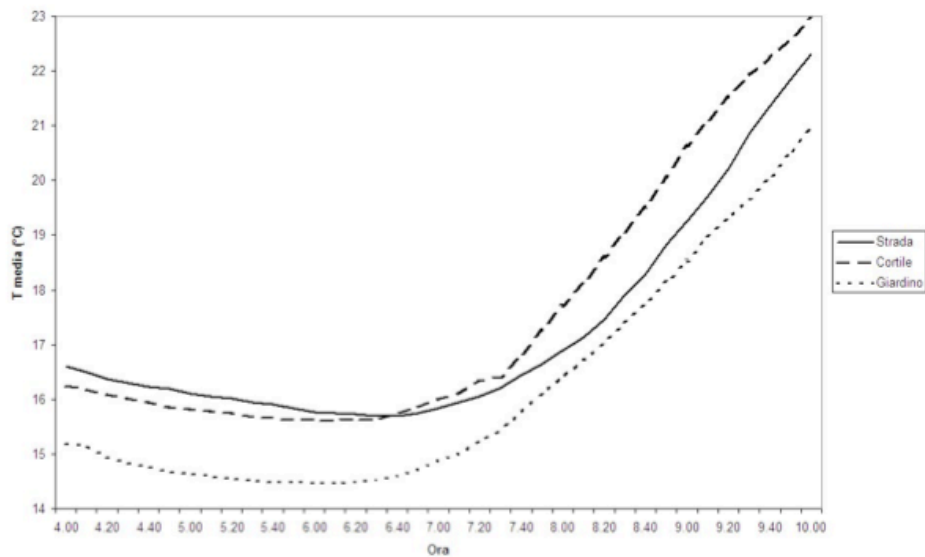


Figura 5.5 - Andamento della media delle temperature registrate ogni 10 minuti in tutte le stazioni appartenenti alle fasce centrali della città (C I e C II), secondo il tipo di ambiente rappresentato (strada, cortile e giardino), durante le ore della mattina (dalle 4 alle 10) nei giorni sereni senza vento (Fonte: Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze, Università studi di Firenze)

Ad un certo punto della mattina la temperatura della strada è molto simile a quella dei giardini, anche se rimane sempre di maggiore di circa $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Come già ipotizzato questo conferma che nelle zone urbane la temperatura cresce in modo più lento rispetto alle zone rurali circostanti. La differenza media giornaliera che si registra tra le stazioni poste nei giardini o nelle strade tende ad annullarsi qualche ora dopo l'alba, per poi tornare ad aumentare sempre di più quando anche i materiali artificiali si sono riscaldati. Risulta particolare l'andamento delle temperature nei giardini: sono molto simili a quelle 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 $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

È stato inoltre fatto un ulteriore confronto tra le temperature medie registrate in ambiente stradale e le temperature medie registrate nei cortili e nei giardini tramite l'indice [Park Cool Island](#) (non disponibile nella fascia FII per mancanza di dati nei tre tipi di ambiente).

Anche questo tipo di analisi ha mostrato il fondamentale ruolo che ha il verde nella mitigazione dell'isola di calore urbana.

L'analisi, infatti, mostra che allontanandosi dal centro città, diminuisce la differenza di temperatura tra strada e cortile ($\text{PCI}_{\text{cortile}}$) e tra strada e giardino ($\text{PCI}_{\text{giardino}}$): la prima differenza rimane nell'ordine di $0,5^{\circ}\text{C}$, diminuendo più velocemente passando dalla zona CI alla zona FI rispetto al passaggio dalla zona CI alla zona CII. La differenza più grande si nota nelle temperature riguardanti strada e giardino: anche in questo caso la diminuzione di temperatura è meno marcata tra la zona CI e la zona CII, mentre aumenta passando tra zona CI e FI.

Da ciò è possibile sostenere che le aree verdi di dimensioni maggiori danno un contributo più rilevante in termini di abbassamento della temperatura dell'aria rispetto alle aree verdi di dimensione minore e che basterebbe spostarsi (se ci si trova nella zona centrale della città) da un ambiente stradale ad un con giardino per avere una diminuzione di temperatura di 1,5°C, con conseguente passaggio da una situazione di disagio ad una di benessere.

5.2.1. *Conclusioni*

Lo studio effettuato sulla città di Firenze ha permesso di approfondire le conoscenze sul clima e di metterlo a confronto con le zone verdi (parchi, giardini e cortili) e con la loro capacità di apportare benefici nelle diverse fasce orarie giornaliere.

È stato dimostrato che la distribuzione della temperatura è legata alla distanza dal centro, all'altezza media degli edifici ed al numero medio di edifici per km²: ma il dato più importante è che le temperature dell'aria all'interno delle aree verdi sono inferiori a quelle registrate nelle strade o nei piccoli cortili. Inoltre la differenza maggior di temperatura tra ambiente stradale e giardino si ha nelle zone più vicine al centro, quelle cioè con più densità abitativi e di edifici.

Per concludere, una buona pianificazione urbana non può non tener conto di certi studi per promuovere interventi specifici nei centri urbani: i risultati infatti possono essere di fondamentale importanza per le amministrazioni locali. Nello sviluppo di nuove aree intorno alla città bisognerà considerare l'apporto delle zone verdi alle condizioni di benessere dei cittadini.

5.3. *Il caso di Goteborg, Svezia*

Un altro importante studio è stato compiuto sulla città di Goteborg, in Svezia, con degli obiettivi ben precisi:

- capire quanto la dimensione del parco influenza la differenza di temperatura tra il parco stesso e il centro abitato;
- stabilire se le dimensioni del parco influenzano l'estensione del raffrescamento (dovuto alla presenza del parco stesso) nel centro abitato;
- stabilire in che modo l'ostruzione del cielo nel parco e nel centro abitato influenzano la temperatura (sky view factory, di cui si è già parlato).

Goteborg è una città della Svezia che si trova sulla costa occidentale, con un'area di circa 700.000 abitanti, caratterizzata da un clima locale marittimo. È presente un fiume, il Gota, che divide la città in una parte orientale e una occidentale: la zona est è presente una zona boscosa di altezza compresa tra i 50 e i 150 m s.l.m., mentre nella parte occidentale abbondano aree pianeggianti e aperte, intervallate da zone più elevate con

altezza massima di circa 60 m s.l.m.. Proprio in questa zona sono presenti i parchi oggetto dello studio.

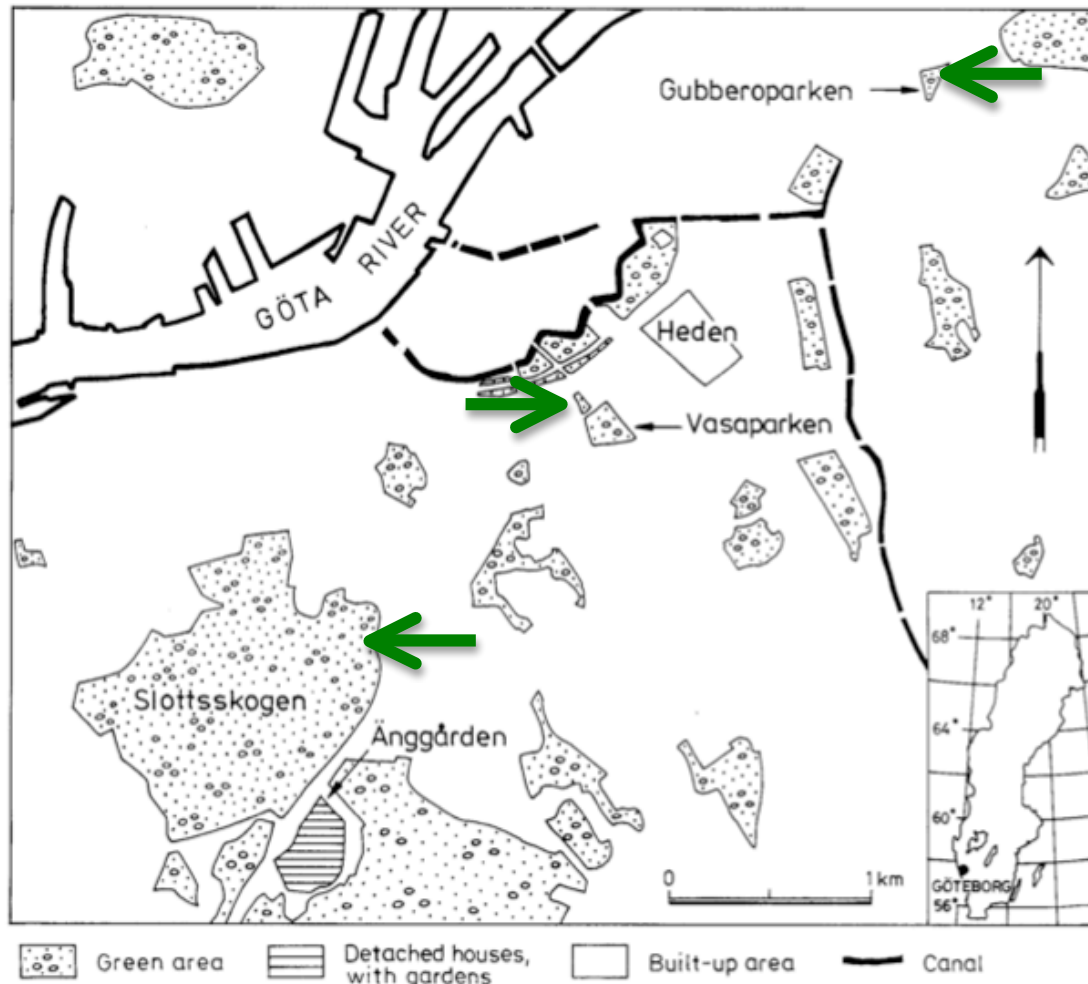


Figura 5.6 - Parchi oggetto di studio (Fonte: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Göteborg Sweden, Upmanis, Eliasson e Lindqvist)

Sito 1

Gubberoparken è un piccolo parco urbano di circa 2.4 ha e circondato da case di sei piani. Lo SVF misura to nel mezzo delle strade che circondano il parco è 0.61 sul lato est, 0.44 a ovest e 0.83 sul lato nord. Nel centro abitato sul lato nord case a tre piani sono intervallate da cortili verdi, e lo SVF è compreso tra 0.5 e 0.8. il parco è costituito da una superficie erbosa con alberi sparsi e cespugli, alcuni percorsi a piedi asfaltati e un parco giochi con pavimentazione ricoperta di sabbia.

Sito 2

Vasaparken si trova nel centro della città. Il parco ha una dimensione di circa 3.6 ha e ha una diversa topografia rispetto al precedente, con una variazione di altitudine interna di 13 m. Sui lati est e ovest le case sono di circa 20 m di altezza e le strade sono larghe 15 m con uno SVF, misurato a metà delle strade, di circa 0.4-0.5. Il parco è caratterizzato da aree aperte ed erbose con alberi e cespugli; esso ospita al suo interno un edificio dell'università con relativo parcheggio e percorsi pedonali asfaltati.

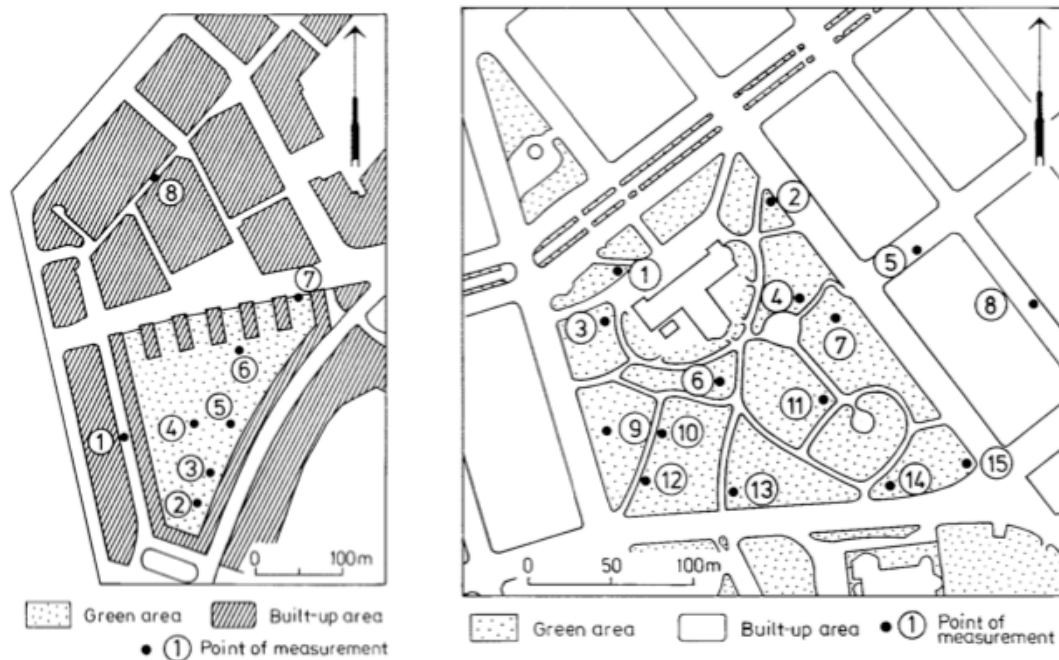


Figura 5.7 – Punti di misurazione nei parchi di Gubberoparken e Vasaparken (Fonte: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Goteborg Sweden, Upmanis, Eliasson e Lindqvist)

Sito 3

Il terzo parco, Slotsskogen, è il più grande di Goteborg: misura circa 156 ha. Il parco è una miscela di diverse tipologie di verde, con colline boschive, superfici erbose, alberi e cespugli sparsi. Ci sono anche, all'interno del parco, specchi d'acqua, strade e sentieri asfaltati, edifici e aree coperte di sabbia. La differenza di altitudine all'interno del parco è di circa 50 m.

Sul lato nord gli edifici sono alti circa 20 m e la stessa misura la si ritrova per la larghezza delle strade, con uno SVF di 0.4-0.7. Sui lati ovest e sud ci sono piccole zone verdi e aree suburbane con uno SVF di circa 0.75.

Un percorso che porta il traffico verso la città corre lungo il lato est del parco dove si affianca anche un centro abitato, Anggarden, con case distaccate, vicoli e giardini. Questa zona-villaggio, a sua volta. È circondata a est da una foresta che copre 584 ha.



Figura 5.8 - Punti di misurazione nel parco di Slotsskogen (Fonte: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Goteborg Sweden, Upmanis, Eliasson e Lindqvist)

Per raggiungere gli obiettivi proposti sono stati effettuati due tipi di rilevamenti:

- misurazioni mobili: vengono effettuate attraversate con l'automobile per studiare la temperatura orizzontale all'interno e all'esterno dei parchi. Il veicolo utilizzato è stato dotato di strumenti che misurano la temperatura ogni dieci metri di spostamento della vettura. I dati sono stati automaticamente registrati e memorizzati. Gli spostamenti sono stati effettuati ad una velocità non superiore a 40 km/h.
- stazioni permanenti: in aggiunta alle informazioni raccolte negli attraversamenti, i dati sono stati rilevati anche da stazioni permanenti. Quattordici stazioni sono state montate ad un'altezza di 2.5 m dal suolo sia all'interno del parco, sia nei confinanti centri abitati, fino ad arrivare al Save aeroporto, situato 9 km a nord-ovest del centro città.

Lo studio si concentra sulla differenza di temperatura all'interno di ogni parco nelle ore notturne (arco di tempo in cui è ben percepibile l'isola di calore), quindi i dati vengono raccolti durante notti serene e calme, da gennaio 1994 a settembre 1995.

Sono state utilizzate due diverse tipologie di rilevazione in modo da poter studiare la temperatura sia su una scala spaziale che su una scala temporale. Le stazioni fisse misurano continuamente e danno temperature medie nel corso del tempo, mentre le misurazioni mobili danno valori di temperature medie su una distanza.

I dati ci mostrano che il più alto delta tra la temperatura all'interno dell'area urbana e all'interno del parco si è verificato più spesso a 2-3 ore dal tramonto, quindi lo studio interesserà soprattutto questo arco temporale della giornata.

Park (area)	Time after sunset (h)	Maximum ΔT_{u-p}	ΔT_{1-10}	Extension from park border (m)
Slotsskogen (156 ha)	0	5	2.2	175
	3.5	4	2.6	775
Vasaparken (3.6 ha)	0	0.8	—	20
	3.5	0.9	—	30

Figura 5.9 - Dati relativi alle misurazioni effettuate nei parchi di Slotsskogen e Vasaparken (Fonte: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Goteborg Sweden, Upmanis, Eliasson e Lindqvist)

5.3.1. *Estensione del parco*

Lo studio effettuato sui tre parchi di dimensioni molto diverse ha mostrato che la massima differenza di temperatura è diversa per i tre casi, infatti è stata trovata corrispondere a 5.9 °C per il parco più grande, Slotsskogen, 2°C per Vasaparken e 1.7 °C per il parco più piccolo, Gubberparken.

Park	Station number (Figures 2, 3 and 5)		SVF		Number of observations		Maximum ΔT_{u-p} (°C)	Median ΔT_{u-p} (max) (°C)		Max extension from park border (m)		Most usual extension (m)	
	Park	Built-up	Park	Built-up	Car traverses	Fixed sensors		Car traverses	Fixed sensors	Car traverses	Fixed sensors	Car traverses	Fixed sensors
Gubberparken	5	1	0.42	0.61	8	0.5	—	—	0.1	—	—	—	—
	4	7	0.81	0.51	—	42	—	1.7	—	0.9	—	—	—
Vasaparken	—	—	—	—	8	42	—	—	—	0	0	0	0
	15	8	0.53	0.39	11	47	0.9	2.6	0.2	1.6	—	—	—
Slotsskogen	—	—	—	—	11	47	—	—	—	30	40	0	40
	18	4	0.83	0.75	13	—	4.4	—	—	—	—	—	—
	18	1	0.83	0.91	13	—	—	—	2.8	—	—	—	—
	13	1	0.89	0.91	—	113	—	5.9	—	4.4	—	—	—
—	—	—	—	13	113	—	—	—	—	1175	1175	1000	845

Figura 5.10 – Evidenziato il massimo delta di temperatura dei tre parchi presi come oggetto di studio (Fonte: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Goteborg Sweden, Upmanis, Eliasson e Lindqvist)

Questi dati confermano quanto già studiato in precedenza (Jauregui, 1975; Brundl, 1986; Saito, 1990-1991; Spronken-smith, 1994): la dimensione del parco è importante per determinare l'entità della differenza di temperatura.

Nel parco più grande, Slottsskogen, e in quello più piccolo, Gubberoparken,, si nota chiaramente come la differenza di temperatura rispetto al confine urbano aumenta man mano che si raggiunge il centro del parco. Nel terzo parco, Vasaparken, a casua delle variazioni di elevazione del terreno, la temperatura più bassa viene riscontrata in uno dei più bassi angoli del parco e non al centro come i precedenti casi.

5.3.2. *Il raffrescamento al di fuori dei confini*

Un altro risultato importante di questo studio riguarda la porzione di ambiente circostante il parco direttamente influenzato dallo stesso, il cosiddetto clima-parco: i parchi più grandi influenzano l'ambiente circostante a grandi distanze dal confine. L'estensione del parco più grande raggiunge una distanza di circa 1 km, in accordo con quanto affermato da altri studi, i quali sostengono che "l'effetto di raffreddamento raggiunge in profondità, all'interno dell'agglomerato urbano, circa la distanza corrispondente alla larghezza del parco". Il parco misura circa 1250 m di larghezza, poco di più la misurazione più distante dal parco dove ancora si trovano effetti derivanti all'aria fresca proveniente dalla zona verde.

Vasaparken mostra invece un'influenza più modesta, di circa 30-40 m dal confine.

Il terzo parco, Gubberoparken, non ha influenza sulle zone circostanti: una spiegazione può essere data alla presenza di edifici paralleli al confine del parco che impediscono alla brezza di aria fresca di introdursi all'interno del tessuto urbano.

5.3.3. *L'influenza dello SVF (sky view factor)*

I risultati ottenuti da questo studio mostrano anche un probabile legame tra SVF e differenza di temperatura tra agglomerato urbano e parco. Nel parco più grande, infatti, i siti con un basso valore di SVF hanno mostrato una relativamente bassa velocità di raffreddamento di circo 1 °C/h o di 2 °C/h al massimo, e siti con più alto SVF hanno mostrato un alto tasso di raffreddamento fino a 2.9 °C/h.

Come già sostenuto da Oke nel 1989, il parco raffredda ad un ritmo superiore rispetto a quello dell'area urbana e il raffreddamento evaporativo può spiegare la differenza di raffreddamento tra il parco e l'area urbana.

Station	Park/urban/rural	SVF	Cooling rate (°C/h)
Station 1	Urban	0.91	1.3
Station 8	Urban	0.43	1.2
Station 12	Park	0.64	1.0
Station 13	Park	0.89	2.3
Station 16	Park	0.76	2.9
Station 19	Park	0.59	2.0
Rural Station	Rural	0.9	1.8

Figura 5.11 - Legame tra SVF e delta T° (Fonte: The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Goteborg Sweden, Upmanis, Eliasson e Lindqvist)

6. La simulazione come strumento di mitigazione

Se fino a poco tempo fa la pianificazione urbana aveva il compito di andare ad agire su scenari e situazioni ben definite, negli ultimi anni si è sviluppato un nuovo tipo di approccio per evitare o quantomeno mitigare gli effetti, spesso dannosi, dell'isola di calore nel contesto urbano: l'uso di modelli di simulazione.

Si dividono in due categorie: ex-post e ex-ante.

- ex-post: più tradizionali, si usano i dati prodotti dal software per poi confrontarli con quelli rilevati tramite misurazioni in sito. Questo approccio ha dato un forte contributo allo sviluppo e alla "taratura" dei software.
- ex-ante: divenuti sempre più precisi e affidabili, si usano per simulare situazioni e scenari e permettono di valutare gli effetti di un intervento o di un progetto sull'ambiente.

Al giorno d'oggi esistono diversi tipi di software che si occupano di tali simulazioni, e variano tra di loro per i tipi di parametri climatici che sono in grado di calcolare e per la complessità dei software stessi.

Di seguito vengono illustrati alcuni di questi software e vengono spiegate le loro caratteristiche e potenzialità nella mitigazione dell'isola di calore.

6.1. RayMan

Questo software è stato sviluppato da Andreas Matzaraskis nell'Università di Friburgo, e risulta particolarmente adatto per il calcolo dei flussi di radiazione, degli effetti delle nubi e di tutti quelli che possono essere considerati ostacoli alla morfologia del territorio. Tra i vari indici climatici che il modello è in grado di calcolare, i più significativi sono:

- il PMV (Predicted mean vote), indice che in base ad una scala di sensazione rappresenta la votazione (da -3 a +3) manifestata da un gran numero di soggetti sottoposti ad un medesimo microclima (Fanger, 1970)
- il PET (Physiologically equivalent temperature), rappresenta un indicatore degli stress termici ed è adatto alla valutazione biometeorologica umana delle componenti termiche di diversi climi, importante quindi per la pianificazione urbana e regionale. Definita come la temperatura fisiologica equivalente, relativa ad un dato ambiente (coperto o all'aperto), equivalente alla temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente interno (senza vento e radiazione solare) il bilancio di calore del corpo umano è mantenuto con una temperatura interna del corpo e della pelle uguale a quella sotto le condizioni che sono state già stabilite;
- il SET (Standard effective temperature), definita come la temperatura efficace standard, cioè la temperatura di una cavità nera, a temperatura uniforme e con umidità relativa al 50 %, nel quale un individuo vestito con abbigliamento standard in relazione all'attività svolta, scambierebbe per convezione, irraggiamento ed evaporazione la stessa quantità di calore che scambia nell'ambiente reale, avendo la stessa temperatura della pelle e la stessa

equivalente di pelle bagnata che ha nell'ambiente reale, in condizione di aria stagnante.

- TMR, definita come la temperatura media radiante.

Per il calcolo di questi indici sono necessari dati meteo (temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità dell'aria, flussi di radiazione) e anche dati termo-fisiologici (attività e abbigliamento).

L'interfaccia del software permette di inserire dati sia per gli edifici che per la vegetazione, dando la possibilità di agire sulle proprietà fisiche dei materiali, come albedo e emissività.

6.2. *Solweig*

Questo modello nasce con l'intento di essere d'aiuto alla progettazione urbana sostenibile, e lo scopo di capire come i flussi di radiazione e la temperatura media radiante possano influenzare la salute e il benessere degli essere umani in un ambiente urbano.

Tramite Solweig si ottengono stime sul clima e si ha un'analisi sulla complessa interazione tra il disegno urbano e la temperatura dell'ambiente.

È stato sviluppato dall'Urban Climate Group del dipartimento della Scienza della terra dell'Università di Goteborg, Svezia (deriva dall'acronimo SOLar and LongWave Environmental Irradiance Geometry).

Questo software basa i proprio calcoli su una mappa chiamate DEM (digitale elevation model), che rappresenta le variazioni spaziali della geometria urbana e grazie alla quale il programma è in grado di estrapolare diversi dati come il calcolo della temperatura media radiante, la luce diffusa e diretta ad onde corte o lunghe, la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e informazioni di tipo geografico (come latitudine, longitudine e elevazione).

Alla fine della simulazione il programma genera tre diversi output: mappe, diagrammi e file dati.

6.3. *ENVI-met*

Sviluppato all'interno di un progetto di ricerca di un'università tedesca, è un software di simulazione ambientale e microclimatica a modello tridimensionale. Vengono studiate le interazioni tra edifici, superfici, vegetazioni, flussi d'aria e di energia di una porzione di area urbana sollecitata dalle condizioni climatiche di contesto geografico.

È particolarmente adatto per il fenomeno dell'isola di calore nelle città, sugli effetti provocati all'interno dei quartieri, sulle variazioni dei flussi d'aria e di calore in relazione alle modifiche del contesto microclimatico.

Simula infatti:

- flussi di radiazioni su tutto lo spettro, dall'infrarosso all'ultravioletto, rispettando l'ombreggiamento, la riflessione e l'emissione delle radiazioni dal sistema di edifici e vegetazione;
- traspirazione, evaporazione e flussi di calore sensibile dalla vegetazione nell'aria;
- simulazione completa dei fattori fisici delle piante, come ad esempio la reazione di fotosintesi ed i suoi effetti;
- temperatura delle superfici dell'area di simulazione (edifici e suolo);
- scambi di calore e di acqua all'interno del suolo;
- calcolo di parametri quali la temperatura media radiante e il PMV (Predicted Mean Vote) dei fruitori dell'area in analisi;
- dispersione di gas inerti, particolato e sedimentazione su superfici e foglie;
- flussi d'aria e turbolenze, dati relativi al vento.

7. Envi-met: struttura e caratteristiche

Dopo aver analizzato quelli che sono i software di simulazione che possono riguardare più da vicino le problematiche relative all'isola di calore urbana è stato deciso di utilizzare l'ultimo programma descritto, Envi-met, per una serie di motivi:

- oltre a calcolare dati relativi all'effetto del verde sulla temperatura dell'ambiente calcola anche quelli sull'inquinamento, sul comfort e sul risparmio energetico degli edifici;
- permette di calcolare diversi tipologie di indici e quindi dà la possibilità di analizzare il problema dell'isola di calore da più punti di vista;
- dà la possibilità di prefigurare diversi scenari fornendo risultati precisi e di facile lettura (grazie a due interfacce di lettura, Leonardo e Xtract, di cui parleremo più avanti);
- risulta essere il programma più utilizzato per lo studio della vegetazione come azione mitigante sul microclima urbano;
- è un software completamente gratuito e facile da reperire.

Il programma in questione è in grado di simulare e riprodurre il comportamento micro-climatico e fisico di aree urbane e rurali. La modellazione implementa e studia le interazioni fra edifici, superfici, vegetazione, flussi d'aria ed energia di una porzione di area urbana sollecitata dalle condizioni climatiche di contesto geografico. Il software è inoltre in grado di simulare fattori relativi alla qualità dell'aria. Il programma simula micro aree urbane con una risoluzione variabile fra gli 0.5 e i 10 metri e per un periodo di tempo a scelta dell'utente, con un time-step di calcolo massimo di 10 secondi. Questa combinazione di risoluzioni permette l'analisi a piccola scala delle interazioni fra edifici, superfici e vegetazione all'interno dell'area modellata. Tramite Envi-met si è modellata l'area di intervento e si è effettuata un'analisi globale dalla quale è stato possibile estrapolare la temperatura superficiale di foglia delle zone del parcheggio coperte dalla vegetazione, la temperatura media radiante e la temperatura potenziale.

7.1. *Struttura del software*

Envi-met è composto da diverse interfacce, ognuna delle quali è necessaria per il corretto funzionamento della simulazione o per la lettura dei dati di output. La struttura del software vede infatti tre principali componenti di input che vanno a convergere nell'interfaccia di simulazione che svolge l'analisi globale, applicando i modelli di calcolo. I risultati dei calcoli svolti sono raggruppati in numerosi e diversi file output che possono essere letti e analizzati attraverso due ulteriori interfacce di lettura.

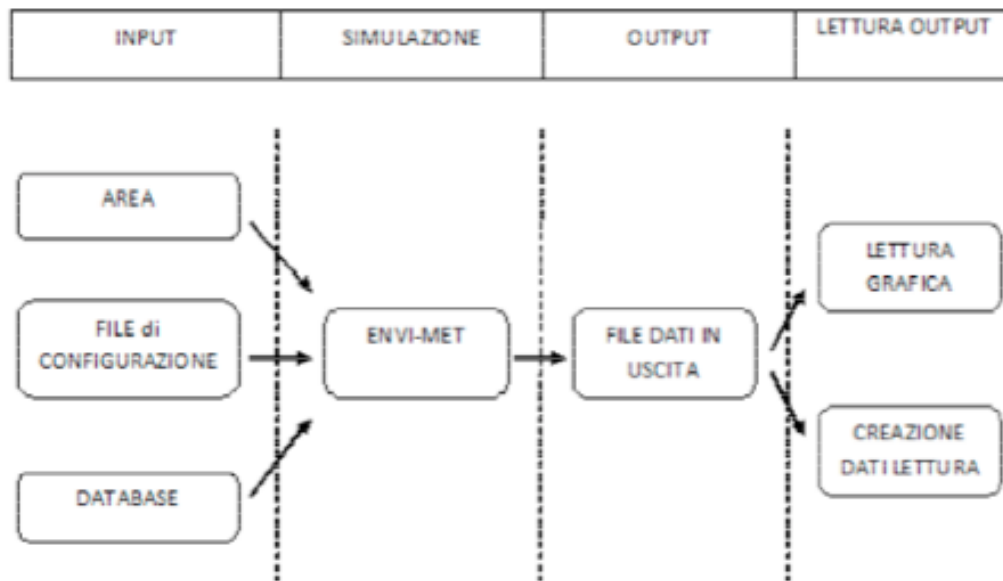


Figura 7.1 - Struttura generale del software (www.envi-met.com)

7.1.1. *Input*

Gli input necessari per l'analisi possono essere suddivisi in tre componenti: "Area Input File", "Configuration File" e "Database". Questi tre elementi vengono importati nell'interfaccia principale che svolge la vera e propria simulazione applicando i modelli di calcolo in seguito descritti.

Il file "Area Input File" è creato attraverso l'interfaccia grafica del software e contiene principalmente i dati geometrici del modello simulato, ovvero:

- dimensione dell'area oggetto dell'analisi;
- superficie e altezza di edifici;
- dimensione di spazi verdi e tipo di vegetazione;
- tipologie di suolo;
- dimensioni di strade;
- presenza di specchi d'acqua.

E' attraverso questa interfaccia che si identifica la zona geografica in cui l'area di modello è posta e l'orientamento cardinale della stessa. La determinazione dell'area geografica avviene attraverso la scelta di una città cui associare l'area, oppure mediante l'indicazione delle coordinate di latitudine e longitudine del sito.

Il "file di configurazione" contiene tutti quelli che sono i parametri iniziali di calcolo e le condizioni a contorno della simulazione, nello specifico:

- informazioni legate all'organizzazione dei file relativi alla simulazione (nome della simulazione e umidità relativa superficiale a diverse profondità);

- dati relativi al vento (direzione di provenienza, velocità a 10 m dal suolo, rugosità del suolo);
- data solare relativa alla simulazione;
- durata della simulazione in ore;
- ora di inizio della simulazione;
- time-step di calcolo (ovvero l'intervallo di tempo al quale il programma associa la risoluzione delle equazioni);
- eventuale presenza di nubi in cielo;
- eventuali sorgenti di gas inerti o particolato;
- modelli e condizioni di calcolo per le turbolenze dell'aria.

I “database” associati ad ogni modello di simulazione, costituito dai file precedentemente descritti, sono tre: uno relativo alla vegetazione, uno alla stratigrafia del suolo, uno contenente dati relativi ad ogni strato del suolo. Ognuno di questi file contiene dati e parametri che vengono poi impiegati nelle equazioni dei modelli fisico-matematici implementati dal software. Sostanzialmente, si tratta di dati legati alla tipologia specifica di piante o terreno, quali: contenuto d'acqua, conducibilità termica, caratteristiche fisiologiche delle foglie e delle radici.

7.1.2. L'interfaccia di simulazione

L'interfaccia di simulazione è la parte centrale del software in cui si associano i file di input relativi al modello e si può fare partire lo svolgimento dei calcoli. Essa non necessita di un ampio utilizzo, ma rappresenta il motore del software attraverso cui controllare l'avanzamento dei calcoli, mediante l'indicazione istantanea del tempo simulato e gli eventuali errori che portano al blocco dello svolgimento.

7.1.3. Output

Envi-met genera moltissimi output e li suddivide in file e cartelle a seconda dei datafield cui sono associati i dati. Alcuni sono file di testo leggibili ed importabili in programmi di calcolo per eventuali analisi, altri sono file non codificabili se non mediante le interfacce allegate al software. La prima interfaccia è grafica e selezionando i datafield è possibile avere una rappresentazione in scala cromatica, con isolinee o con rappresentazione vettoriale del dato; la seconda permette invece di “tagliare” il modello tridimensionale con piani orizzontali o verticali ed estrarre solo i dati relativi alla sezione su di un file di testo importabile in programmi di calcolo. I programmi per visualizzare i stati di output verranno descritti in dettaglio in seguito.

7.2. *Lettura dei risultati*

Il risultato dei numerosi calcoli di simulazione che il software esegue è un grande ammontare di dati in uscita (output). Gli output sono raggruppati autonomamente da Envi-met in sottocartelle relative ad ogni simulazione, suddivisi per tipologia di output e di parametri espressi in ogni file. Le sottocartelle sono sette e sono così denominate: Atmosphere, BOTworld, Inflow, Log, Receptors, Soil, Surface. Escluderemo dalla nostra attenzione i file contenuti nella seconda e quarta cartella. Essi, infatti, nel primo caso, si riferiscono a dati relativi al benessere di virtuali fruitori dell'area analizzata, nel secondo caso, sono invece dati attinenti alla prima lettura del modello di area e del file di configurazione da parte dell'interfaccia di simulazione. Il software Envi-met prevede infine due interfacce di lettura dei dati in uscita: Leonardo e Xtract.

7.2.1. *Atmosphere*

La cartella Atmosphere contiene due file per ogni ora di simulazione: il primo contiene i dati dell'analisi scritti in codice binario, il secondo è un file di sistema necessario per interpretare il codice di scrittura del primo file. Questi file orari contengono, per ogni quota z corrispondente ad una cella, i dati relativi a: vento (velocità sulle tre direzioni, velocità complessiva, direzione risultante, variazione percentuale di velocità), umidità relativa e assoluta, temperatura dell'aria espressa attraverso la temperatura potenziale (di cui è indicata anche la variazione oraria), la temperatura media radiante e le temperature superficiali, espresse attraverso la temperatura del bordo della cella. Il file in oggetto contiene dati relativi all'intero spazio tridimensionale, ovvero corrispondenti ad ogni cella componente il modello. Attraverso le interfacce di lettura, come si vedrà più avanti, è possibile leggere questi dati "sezionandoli" su piani spaziali (piano xy a diverse quote z , piano yz a diversi livelli della coordinata x , piano zx a diversi livelli y) corrispondenti alle celle.

Si sottolinea come i dati siano singoli per ogni cella, dunque il volume discreto che compone il modello, qualsiasi sia la sua dimensione, è considerato come un punto singolo. Nel nostro caso, usando celle di dimensioni $dx = 5$ metri, ad ogni volume $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 5\text{ m}$ è associato un solo valore di temperatura dell'aria, di velocità del vento, direzione del vento e così per tutti i parametri. Envi-met, inoltre, svolge le equazioni di calcolo di tutti i dati ad ogni time-step, ovvero ogni 3 - 5 e 10 secondi (a seconda dell'altezza del sole sull'orizzonte), ma restituisce solamente un dato ogni ora. Esso è rappresentato dal valore esatto che ogni parametro assume al momento di calcolo coincidente con lo scadere dell'ora. Non è una media dei valori ottenuti dai calcoli durante tutta l'ora, ma il dato conseguente i precedenti, secondo i calcoli.

7.2.2. *Inflow*

La cartella denominata Inflow contiene dati relativi al modello monodimensionale che Envi-met calcola inizialmente per avere dei dati di partenza impiegati come forzanti per la risoluzione delle equazioni successive. Esiste dunque un file per ogni ora di simulazione che esprime i valori di alcuni parametri, da $z = 0$ metri a $z = 2500$ metri, ad intervalli di spazio sempre maggiori con l'aumentare della quota. I parametri sono pressoché tutti relativi al vento e alle turbolenze dei flussi d'aria, ovvero i dati iniziali di cui il software necessita maggiormente. Esiste anche un valore di temperatura e di umidità specifica dell'aria. Alla quota coincidente col punto più alto del modello tridimensionale, nell'ora di inizio della simulazione, tale valore di temperatura coincide con il valore iniziale imposto del file di configurazione e varia di ora in ora secondo la radiazione solare in funzione del modello climatico applicato.

7.2.3. *Receptors*

La cartella indicata come “Receptors” contiene tutti i dati relativi ad eventuali recettori posti nel modello. È dunque presenti una sottocartella per ogni recettore presente. Per meglio comprendere i dati di output in oggetto è necessario ricordare che un recettore posto in un punto del modello restituisce i dati relativi a tutta la colonna di volumi discreti posta sopra il recettore stesso e anche quelli relativi alla porzione di suolo sottostante. All'interno di ogni sottocartella, dunque, sono presenti tre tipologie di file:

- ATM (dati atmosferici);
- FLX (dati relativi ai flussi radiativi scambiati);
- SOI (dati relativi al suolo).

I file ATM (atmosfera) sono file orari che contengono i dati relativi all'aria e al vento. Si sottolinea che i recettori sono posti sul suolo del modello e che è impossibile porsi ad una quota diversa dallo zero. A conseguenza di ciò, se sopra di essi è posto un edificio, i valori relativi al file ATM saranno tutti nulli.

I file indicati come FLX esprimono invece i valori dei flussi energetici radiativi scambiati dalla superficie di suolo identificata dal recettore. Anche in questo caso i dati sono tutti relativi alla quota zero e insieme ai diversi flussi, differenziati per lunghezza d'onda e direzione. Sono presenti informazioni riguardanti la temperatura, la sua variazione nel tempo, il vento (direzione, velocità, variazione nel tempo), l'umidità relativa, la vegetazione presente e i parametri legati alle turbolenze dell'aria.

I file indicati con “SOI” sono invece relativi al suolo e forniscono informazioni riguardanti la colonna di suolo sottostante il recettore. Un file per ogni ora indica la temperatura ed il contenuto d'acqua del suolo a diverse profondità da 0 a 175 cm, a distanze telescopiche.

I file relativi ai recettori sono molto utili per l'analisi del modello, poiché permettono di avere immediatamente informazioni relative ad un singolo punto e su tutta l'altezza dello stesso. Un limite forte è tuttavia rappresentato dall'impossibilità di porre il sensore

sopra un edificio, per esempio, o accostato ad una superficie verticale. Per avere le temperature superficiali del tetto o delle pareti degli edifici è necessario infatti ricorrere a sezioni orizzontali o verticali dei file output tridimensionali, che possono diventare difficoltose se gli edifici modellati presentano altezze diverse, anche a causa di una certa confusione relativa alla coordinata a cui il dato viene restituito.

7.2.4. *Soil*

La cartella “Soil” si presenta come il file “Atmosphere” presentando due file per ogni ora di simulazione. I dati possono essere letti attraverso l’interfaccia grafica Leonardo o con Xtract. Dai dati in questa cartella è possibile ottenere informazioni relative alla temperatura del suolo ed al suo contenuto d’acqua a diverse profondità dalla superficie fino a $z = - 50$ cm.

7.2.5. *Surface*

La cartella “Surface” contiene due file per ogni ora di simulazione, in modo identico alle precedenti cartelle Soil e Atmosphere. I file surface contengono dati relativi solamente alla quota $z = 0$, si tratta dunque di dati bidimensionali. Essi presentano informazioni relative alla temperatura della superficie e alla sua variazione nel tempo, all’umidità relativa dell’aria e alla velocità del vento alla prima quota sovrastante la superficie del suolo.

7.3. *L’interfaccia di lettura*

Come detto precedentemente i dati ottenuti con Envi-met sono precisi e facilmente leggibili e quindi interpretabili grazie a due interfacce di lettura direttamente presenti all’interno del software: Leonardo e Xtract.

7.3.1. *Leonardo*

Leonardo è un software che fornisce una rappresentazione grafica dei dati output contenuti in file “tridimensionali”, ovvero quei file che non possono essere letti se non attraverso queste interfacce predisposte dal software stesso. Importando uno di questi file all’interno dell’interfaccia Leonardo, è possibile visualizzare l’elenco dei parametri output presenti in esso e selezionare il metodo di rappresentazione più adeguato per ognuno. Leonardo permette di visualizzare i dati attraverso quattro principali metodi grafici: data, vector, isoline, special. Essi rappresentano dei layer sul disegno ed è

possibile visualizzarli singolarmente o contemporaneamente a seconda del tipo di rappresentazione che si desidera ottenere, oppure svolgere operazioni fra di essi.

7.3.1.1. Data

Il layer visualizza i dati in scala cromatica, con legenda affiancata alla mappa. È utile, ad esempio, per la rappresentazione del gradiente di temperatura.

7.3.1.2. Vector

Il layer Vector visualizza i dati attraverso delle frecce (vettori) direzionati e con modulo proporzionale al valore. Esso rappresenta un ottimo metodo di rappresentazione del flusso d'aria e del vento poiché le frecce sono in grado di esprimere la direzione e anche i punti in cui la velocità diventa maggiore.

7.3.1.3. Special

Il layer Special permette di visualizzare i dati con un valore o un significato singolo. Esso è usato principalmente per l'indicazione degli edifici e della vegetazione all'interno della rappresentazione grafica degli altri parametri.

7.3.1.4. Isoline

Il metodo di rappresentazione è quello delle isolinee. Permette di visualizzare molto efficacemente parametri come fattore di vista del cielo, temperature, flussi radiativi incidenti, fattori legati alla turbolenza dell'aria e velocità del vento. Accanto alle curve viene indicato il valore del parametro che essa rappresenta.

La rappresentazione dei dati attraverso l'interfaccia Leonardo è molto utile per avere un'idea immediata e chiara dei dati, per identificare l'incidenza di alcuni fattori sul modello e per comprendere le variazioni che alcuni parametri hanno nel tempo o nello spazio. È utile principalmente per identificare anche le zone critiche del modello a seconda del tipo di analisi che si desidera effettuare. La rappresentazione, tuttavia, è puramente grafica e quindi qualitativa. La legenda, benché aiuti a rendere leggibile il dato, permette una quantificazione dello stesso molto sommaria. Da Leonardo non si ottengono infatti i reali valori dei parametri rappresentati e non si possono effettuare analisi numeriche più approfondite sui dati contenuti nei file tridimensionali e bidimensionali (cartelle Atmosphere e Surface). Per questo è presente un'altra interfaccia di lettura degli output: Xtract.

7.3.2. *Xtract*

Xtract serve per estrarre, dai file bidimensionali e tridimensionali in uscita dalla simulazione, dei file di testo leggibili per estrapolare i dati di output. L'interfaccia è estremamente intuitiva: scelto il file output da analizzare, lo si importa all'interno del software, quindi, attraverso le coordinate, si sceglie il piano di sezione (esattamente come si agisce su Leonardo per determinare il piano di rappresentazione) e si effettua il "taglio". Si ottiene così un ulteriore file contenente i dati che si desiderano in un formato leggibile e importabile in altri programmi di analisi dati. Per quanto facile, una sezione effettuata in questo modo presenta alcuni limiti. In primis il fatto che la sezione di dati viene effettuata solamente su di un datafield. Si è dunque costretti a scegliere un solo parametro fra tutti gli output che il programma propone. Il "taglio" è inoltre effettuato su di un file orario, dunque i dati ottenuti saranno relativi solo a quell'istante della giornata. Si comprende così come, per poter effettuare un'analisi numerica, ad esempio quella della variazione giornaliera di un parametro (che, come si è visto, non è possibile effettuare con Leonardo), sia necessario estrarre numerosi file ed importarli poi tutti insieme in un foglio di calcolo o in un altro sistema di analisi numerica. Inoltre i valori estrapolati dalla sezione sono comprensivi di tutto il modello e non è possibile distinguere le zone di interesse se non manualmente per mezzo di un foglio di calcolo.

7.4. *I limiti del software*

Nonostante Envi-met permetta di simulare più che bene il comportamento di un dato ambiente in base alla presenza di più o meno vegetazione e quindi la variazione di temperatura, presente alcuni limiti che è bene sottolineare.

Il software è molto potente: permette infatti la simulazione di aree dal punto di vista energetico e ambientale, analizzando un grande numero di dati e parametri. Il calcolo però è molto complesso in quanto i fattori ambientali interferiscono tra loro influenzandosi di conseguenza. I dati che vengono ricavati da tali simulazione sono spesso attendibili e di buona precisione, ma per far sì che questo accada sono necessarie delle semplificazioni da parte del sistema.

Per impiegare il programma al massimo delle sue capacità è bene comprendere quali siano queste semplificazioni.

Partendo dal valore di albedo degli edifici presenti in un file Area: non è possibile differenziare il parametro tra superfici verticali, ma è possibile farlo tra chiusure verticali e orizzontali. Stesso discorso per le trasmittanze: possono essere differenziate tra superfici verticali e orizzontali ma non tra edifici. Inoltre le superfici esterne degli edifici sono considerate tutte come superfici opache, rendendo impossibile l'inserimento di parti vetrate. Con queste limitazioni sono possibili solo simulazioni su contesti micro-climatici piuttosto simili, cioè con edifici con stesse caratteristiche di albedo e stesse trasmittanze per le chiusure.

Soprattutto l'impossibilità di creare superfici vetrate fa sì che vengano tralasciati importanti effetti come la riflessione, la variazione di trasmittanza e l'irraggiamento all'interno dell'edificio.

Questo naturalmente per semplificare il modello e i calcoli: ma se da un lato risulta comprensibile trascurare gli effetti delle parti vetrate sulle condizioni di temperature interne agli edifici che sarebbero legate ad innumerevoli altri fattori, dall'altro risulta poco preciso trascurare gli effetti che una porzione vetrata porta sul microclima ambientale.

Altro fattore che non è possibile inserire (relativamente alle chiusure) è la capacità termica. È uno dei parametri fondamentali quando si parla di isola di calore urbana: è forse uno dei limiti più importanti del programma che rende gli scambi di calore tra edifici poco attendibili o sottostimati.

Gli edifici quindi sono considerati più come elementi geometrici, volumi che interferiscono sui flussi d'aria e sulla diversificazione di radiazione incidente sul suolo; di conseguenza le temperature superficiali potrebbero non essere così precise, così come i flussi di calore tra superfici.

Una volta scoperti queste limitazioni risulta comprensibile come il programma sia utile soprattutto per confrontare la stessa area sotto diverse condizioni, ad esempio la presenza di vegetazione e di albedo. Su questo tipo di simulazione il "non considerare" l'inerzia termica non incide in maniera preponderante sui risultati.

Anche il suolo ha le sue limitazioni: la quota zero è fissa e non modificabile. La simulazione quindi interesserà solo zone con altimetria simile e senza dislivelli notevoli, tra cui quelli legati a strade, edifici o rampe (potrebbero causare variazioni importanti dei flussi d'aria).

Non si possono riprodurre fontane o comunque effetti del moto dell'acqua; questa non è considerata una limitazione così vincolante, anche e un bacino ha degli effetti sulla temperatura soprattutto dopo il tramonto, mentre la presenza di fontane all'interno del microclima urbano può essere importante durante tutto l'arco della giornata.

Un aspetto fondamentale che viene semplificato è la presenza di carichi antropogenici all'interno della zona presa in esame. Come detto nei capitoli precedenti la produzione di calore è una delle cause più influenti nella creazione dell'isola di calore: traffico, impianti di condizionamento, processi industriali sono tutti elementi che provocano il surriscaldamento dell'aria. Risulta quindi impossibile simulare la differenza di temperatura dell'aria in presenza o meno di tale componente o studiare quali fattori agiscono di più e quali di meno.

Nonostante sia possibile inserire sorgenti di particolato o anidride carbonica, non è consentito immettere più specie per volta né differenziarle per densità, intervallo di immissione o tipo di particolato emesso. Queste limitazioni rendono impossibile simulare gli effetti di una zona industriale sul microclima urbano e ne restringono il campo di applicazione.

L'ultimo vincolo che necessita di essere menzionato riguarda i recettori: non è possibile porre un recettore su un edificio. Vengono posti sul livello del suolo (quindi a quota zero): se posti su un edificio non sono in grado di fornire dati relativi all'atmosfera sovrastante il tetto, ma è come se fossero coperti dall'edificio stesso.



Dopo tutte le considerazioni fatte sulle limitazioni che tale software impone, Envi-met è usato soprattutto nelle simulazioni che riguardano vegetazione ed albedo (quindi l'incidenza che hanno) oppure per il confronto dello stesso sistema in condizione di verde diverse oppure per studiare le possibili modifiche effettuabili per attenuare l'effetto dell'isola di calore.

8. Un'applicazione pratica: Piazza Aspromonte

Dopo aver illustrato tutte le caratteristiche e i limiti del software Envi-met si vuole verificare la funzionalità all'interno del contesto urbano al fine di evidenziare il ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana.

È stata presa in considerazione Piazza Aspromonte a nord di Milano: la scelta è ricaduta su questo luogo in quanto è una piazza ricca di vegetazione e il confronto con le aree circostanti ci può mostrare quanto l'introduzione di verde può essere un aiuto molto importante per mitigare gli effetti fastidiosi dell'isola di calore.

Viene simulata la situazione odierna della piazza e schematizzata attraverso il software di mitigazione.

8.1. Area di progetto

L'area di progetto si trova a nord-est di Milano, molto vicino a Piazza Loreto: per meglio confrontare la differenza di temperatura dell'aria dovuta alla presenza di vegetazione è stata presa in considerazione un'area più ampia per meglio confrontare tale salto termico.

Si è considerata quindi l'area delimitata a nord da Via Nicola Antonio Porpora, a ovest da Via Giovanni Ricordi, a est da Viale Lombardia e a sud da Via Francesco Lomonaco.

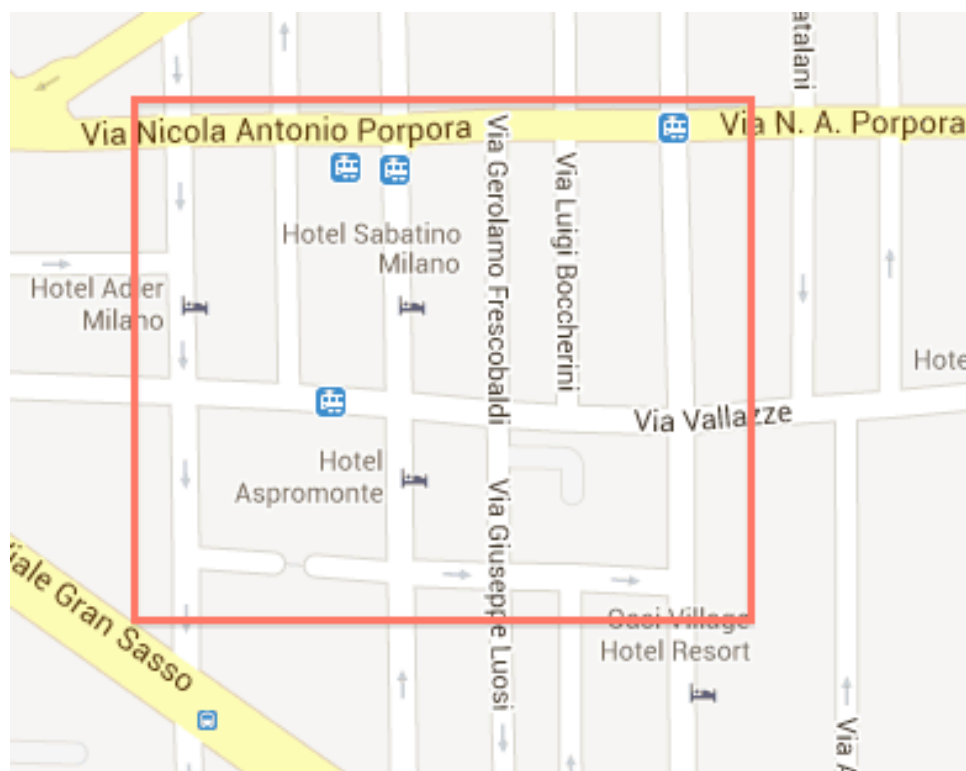


Figura 8.1 - La posizione di P. Aspromonte a Milano (Fonte:www.google.maps.it)

L'area ha una dimensione complessiva di 350 metri di lunghezza e 280 metri di larghezza: a sud-ovest della stessa è situata Piazza Aspromonte, un piccolo polmone verde di 140 x 110 metri.

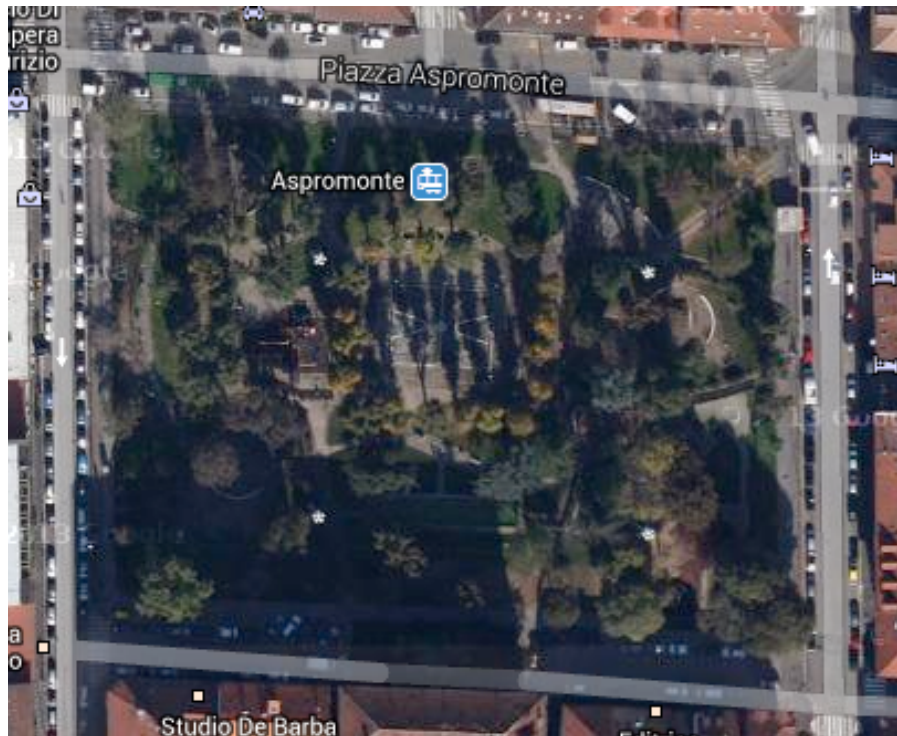


Figura 8.2 - Una vista dall'alto della piazza (Fonte: www.google.maps.it)

8.1.1. La morfologia della piazza

Come detto Piazza Aspromonte si trova a Milano, città densamente abitata e caratterizzata da edifici che si sviluppano per lo più in verticale. Anche in questo caso il parco è delimitato da diversi edifici con altezze diverse: nella parte sud gli edifici non superano i cinque piani (con un'altezza massima di 15 metri), sul lato ovest sono presenti edifici che raggiungono anche i sette piani (circa 20 metri d'altezza), il lato nord ha le stesse caratteristiche del lato sud, mentre la zona situata ad est è quella con gli edifici più bassi (massimo quattro piani per un'altezza massima di 12 metri).

Non sono presenti canyon urbani, grazie alla vasta estensione del parco e alle altezze ridotte degli edifici: il vento potrà circolare con relativa facilità, andando ad attutire il fenomeno dell'isola di calore all'interno di questa piazza.

8.1.2. *I materiali*

La piazza è situata nel cuore della città, dietro Piazza Loreto, ed è delimitata da quattro strade: i materiali utilizzati, quindi, sono tra i più comuni in circolazione.

Strade di asfalto, vasto uso di pietra, laterizi e calcestruzzo per i diversi edifici che abbracciano la piazza: questa, però, è costituita principalmente da alberi e in alcune zone da prato, per cui l'effetto sulla mitigazione dovrebbe essere ben visibile all'interno della simulazione. Gli alberi, infatti, svolgono un ruolo maggiore rispetto al prato o comunque a zone con vegetazione bassa e poco fitta.



Figura 8.3 – Vegetazione di P. Aspromonte

8.1.3. *I carichi antropogenici*

Nonostante la piazza si trovi all'interno di Milano, in una zona densamente abitata e vicina ad una stazione di metro, i carichi che gravano sul bilancio globale non sono così negativi come si potrebbe pensare.

La posizione di questo parco, in questo senso, è abbastanza strategica: non affaccia su un grande viale (solitamente molto trafficato, sia da auto che da mezzi di trasporto pubblici), ma gode di relativa tranquillità, fatta eccezione per la parte nord (dove passa un tram urbano).



Figura 8.4 - Zona nord di P. Aspromonte

8.2. *La simulazione: dati e ipotesi*

Come spiegato nel capitolo precedente, il software ha un'interfaccia iniziale su cui è possibile creare il modello dell'area che è stata presa in considerazione. Per questo caso è stata scelta una griglia di 112 x 90 per le dimensioni x e y, 25 per la coordinata z: i fattori di scala sono, in ordine, 3.50, 3.50 e 2.00, in modo da rientrare nei parametri limite del software. Non sono presenti palazzi particolarmente alti nella zona quindi è stata considerata un'altezza massima di 30 m.

Quindi è stata selezionata la località di studio (in questo caso Milano) ed è stato creato il modello. Dopo aver creato gli edifici, la parte un po' più lunga e complessa, vengono attribuiti i valori di terreno: al di sotto della vegetazione e delle parti edificate viene utilizzato un terreno di default, mentre nella restante parte viene utilizzata strada asfaltata. In questo modo sarà più facile verificare l'effetto di mitigazione del verde sull'isola di calore.

Possono anche essere inserite diverse tipologie di vegetazione:

- erba;
- alberi alti fino a 10 metri con chioma densa o poco densa;
- alberi alti fino a 20 metri con chioma densa o poco densa;
- alberi con foglie alla base;
- chioma molto densa;
- foresta densa con alberi fino a 20 m;
- alberi alti fino a 20 metri con chiome distinte;
- prato;
- etc.

Nella maggior parte delle zone verdi prese in considerazione è stata utilizzata l'opzione "alberi alti fino a 15 metri con chiome distinte" e "prato".

Una volta creato il modello, il software prevede l'inserimento di alcuni dati necessari alla simulazione, come il giorno, la durata della simulazione, velocità e direzione del vento, umidità relativa etc. Come detto più volte l'isola di calore è un fenomeno che si manifesta maggiormente durante il periodo estivo, viene scelto quindi come giorno della simulazione il giorno con il più alto delta di temperatura tra due stazioni poste al centro città (Brera) e nella periferia di Milano (Lambrate) nel mese di luglio 2012.. Grazie ai dati forniti dall'ARPA (Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente) è stato scelto il giorno 18 luglio del 2012: il salto di temperatura tra le due località è 6,2°C.

2012/07/17 23:00	27.5
2012/07/18 00:00	26.9
2012/07/18 01:00	26.6
2012/07/18 02:00	25.9
2012/07/18 03:00	24.9
2012/07/18 04:00	23.1
2012/07/18 05:00	22.1
2012/07/18 06:00	21.9
2012/07/18 07:00	22.8

2012/07/18 00:00	24.2
2012/07/18 01:00	21.1
2012/07/18 02:00	19.7
2012/07/18 03:00	20.1
2012/07/18 04:00	20.5
2012/07/18 05:00	19.6
2012/07/18 06:00	19.6
2012/07/18 07:00	22.9

Figura 8.5 – Raffronto tra le temperature del centro città (Brera) e la zona periferica di Milano (Lambrate) (Fonte:www.arpa.it)

Gli altri dati inseriti per la simulazione sono i seguenti:

- giorno della simulazione: 18 luglio 2012;
- ora di inizio della simulazione: 06:00;
- durata della simulazione: 24 ore;
- velocità del vento: 0,5 m/s;
- direzione del vento: sud-ovest;
- temperatura iniziale: 293 K (20 °C);

Una volta impostato il modello viene lanciata la simulazione, che per la complessità del modello durerà diverse ore. Successivamente vengono studiati i risultati con l'interfaccia di lettura Leonardo.

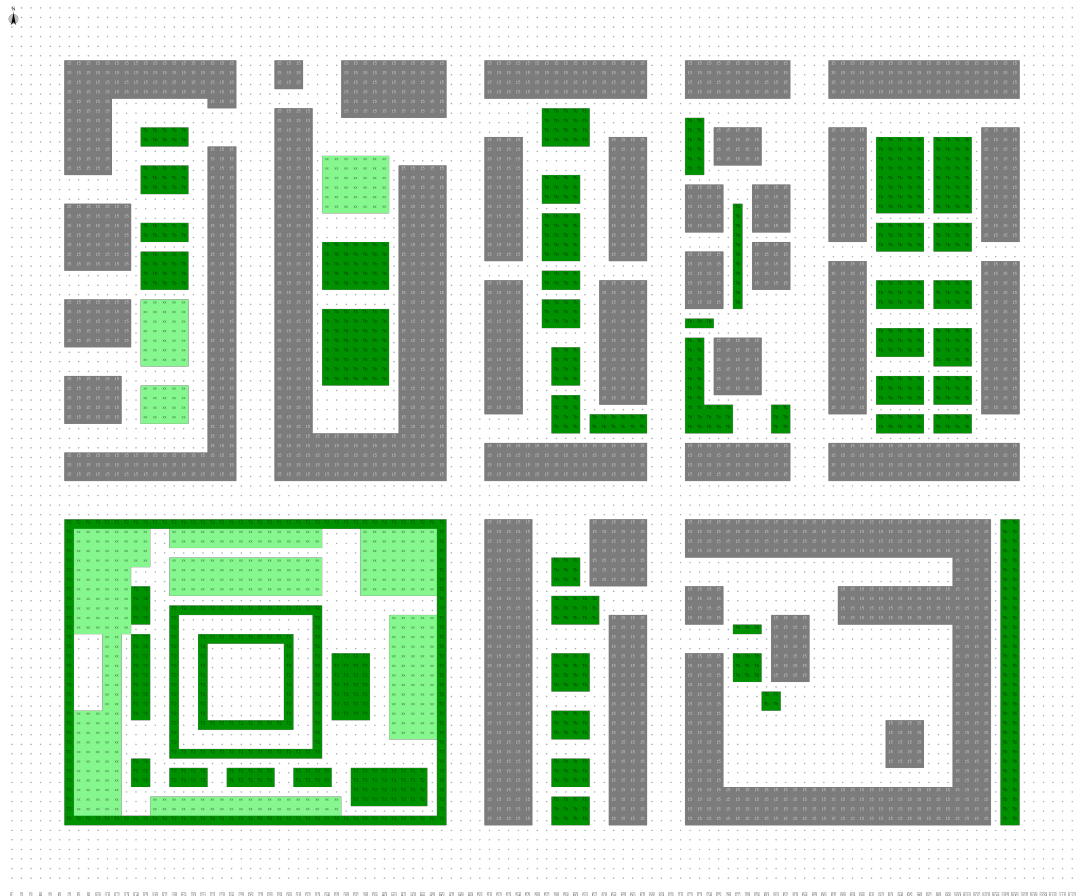


Figura 8.6 - Modello creato con il software Envi-met

L'immagine mostra come è stato sviluppato e definito il modello in base alla morfologia della piazza presa in considerazione per la simulazione tramite il software Envi-met.

Una volta calcolati tutti gli indici, sarà decisione dell'utente quali saranno quelli più utili ai fini dello studio sulla vegetazione.

Per meglio comprendere l'effetto della vegetazione sull'isola di calore verranno presi in considerazione i risultati ottenuti per le ore 8:00, le ore 12:00 e le ore 00:00 del 18 luglio, in modo da capire i diversi effetti che il verde produce durante un'intera giornata.

Come detto precedentemente, sarà il software Leonardo che permetterà di studiare, attraverso mappe cromatiche, il comportamento della piazza: l'indice preso in considerazione è la temperatura potenziale.

8.3. *Risultati ottenuti*

Grazie alle mappe cromatiche ricavate da Leonardo, di facile lettura, si riesce a comprendere il positivo effetto della vegetazione in un'area urbana.

Il parametro che caratterizza le mappe cromatiche (allegate successivamente) è la temperatura potenziale.

8.3.1. *La temperatura potenziale*

Per calcolare la temperatura dell'aria, e per meglio comprendere l'effettivo aiuto dato dalle aree verdi, si analizza la temperatura potenziale.

La temperatura potenziale è definita come la temperatura che una particella insatura di aria secca avrebbe se fosse portata adiabaticamente e reversibilmente dal suo stato iniziale ad una pressione standard (P_0) tipicamente 100 kPa. L'espressione matematica della temperatura potenziale è:

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{R/c_p}$$

con:

- θ = temperatura potenziale;
- T = temperatura;
- R = costante del gas per l'aria
- c_p = calore specifico a pressione costante.

Come si vede nella prima mappa cromatica una piccola differenza di temperatura è riscontrabile dalle prime ore del mattino: alle ore 9:00 infatti la temperatura all'interno della zona con maggiore concentrazione di verde è di circa 24°C, mentre nelle zone con una percentuale più bassa la temperatura è di circa 2-2,5°C più alta. In questo senso giocano un ruolo fondamentale gli alberi: se il parco fosse infatti ricoperto da semplice erba l'effetto non sarebbe lo stesso, ci sarebbe una differenza di temperatura ma non così

marcata. Nelle zone invece ricoperte da asfalto la temperatura è di circa 27°C, quindi circa 3°C in più: come detto precedentemente i materiali hanno un ruolo fondamentale nell'accumulo di calore durante la giornata.

È interessante notare che anche dove è presente della vegetazione (che siano alberi o semplicemente verde come prato o un giardino) per esempio tra due edifici abbastanza attigui l'effetto sull'aria si fa sentire seppur in maniera più lieve.

L'ultima considerazione riguarda una piccola superficie di asfalto all'interno del parco: alle 9:00 di mattina il fresco provocato dal verde ha la meglio sul materiale: la temperatura è piuttosto bassa (circa 24°C).

Nella seconda mappa cromatica (ore 13:00, forse l'orario più caldo della giornata) si nota come naturalmente le temperature sono globalmente più elevate: nonostante il parco e quindi una buona distribuzione di vegetazione poche zone risentono del positivo effetto. Nelle zone caratterizzate dal colore blu la temperatura è di circa 29,5°C, mentre nelle zone caratterizzate dal colore gialle-verde-rosso la temperatura è di circa 4°C più alta.

Come si vede nella parte sud-ovest della mappa, all'interno del parco la temperatura dell'aria è comunque più elevata rispetto alle zone circostanti: questo perché i materiali giocano un ruolo fondamentale. Quella piccola zona infatti ha già accumulato molto calore dal sorgere del sole e questo provoca una temperatura dell'aria maggiore.

Un altro banale motivo è dato dal fatto che in questa piccola porzione di piazza non è presente un sistema di ombreggiatura naturale, che provoca una zona più calda delle altre.

Abbastanza diversa è la situazione nella terza mappa cromatica. Alle ore 24:00 tutte quelle zone costruite con materiali caratterizzati da un grande accumulo di energia cominciano a rilasciare il calore immagazzinato durante tutto l'arco della giornata. All'interno del parco di nota una zona in cui la temperatura è più bassa rispetto alle altre zone (circa 22°C, la zona evidenziata in verde-giallo): la temperatura però non riesce a scendere al di là di questo valore proprio a causa del calore riemesso da materiale con una grande grado di assorbimento di calore.

È comunque significativa la differenza di temperatura tra la zona prevalentemente ricoperta da verde (come detto 22°C) e le zone caratterizzate da materiali come l'asfalto (24,8 °C), che dimostra come soprattutto la sera l'effetto di isola di calore gioca un ruolo importante nel contesto urbano.

Quest'ultima mappa cromatica conferma quanto detto prima: tra gli edifici (esempio parte nord-ovest nella figura) ha un maggiore effetto mitigante la presenza di alberi piuttosto che quella di prato o vegetazione di altezza ridotta.

Tavola 1 – Distribuzione della temperatura potenziale alle ore 9:00 in Piazza Aspromonte

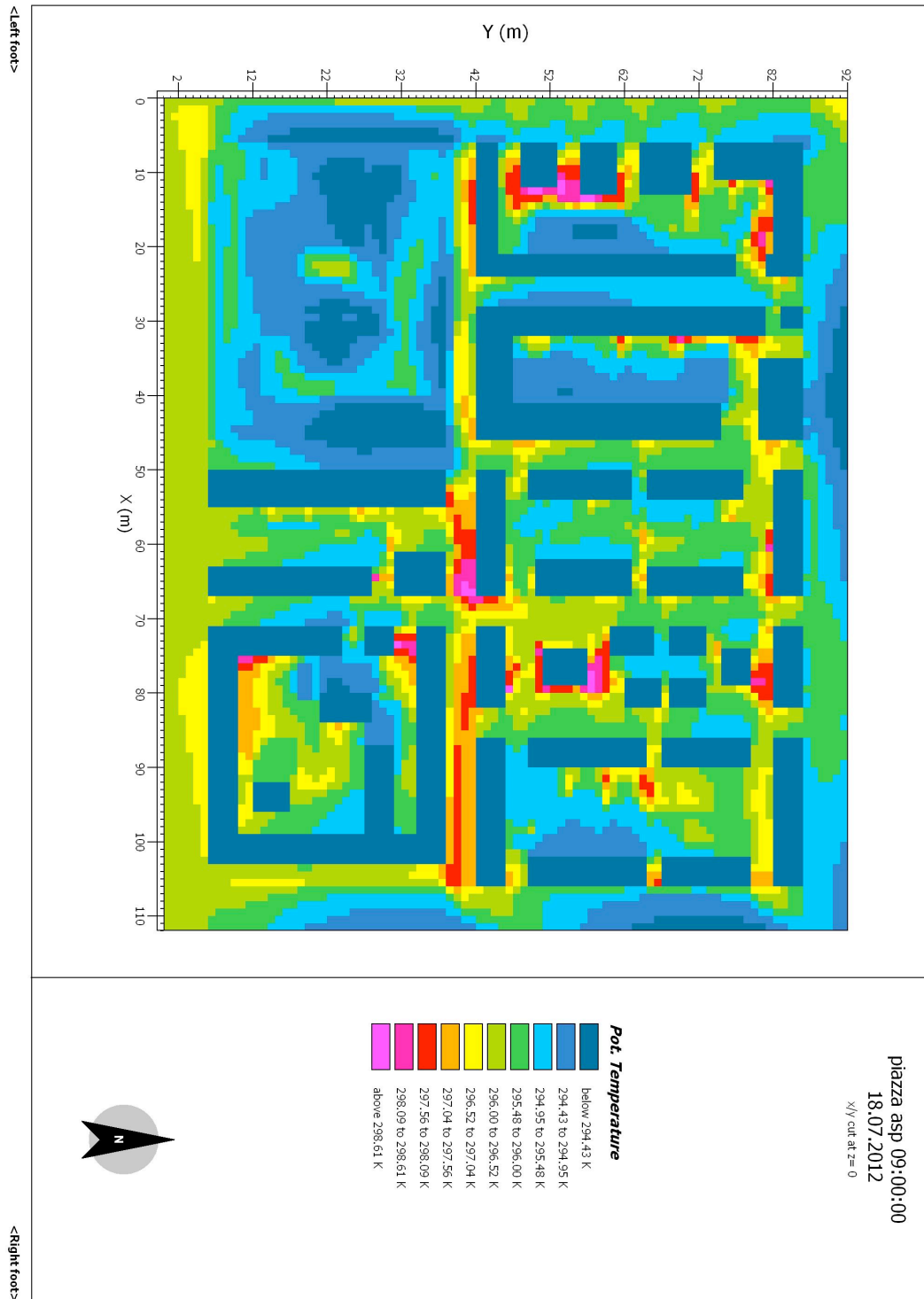


Tavola 2 – Distribuzione della temperatura potenziale alle ore 13:00 in Piazza Aspromonte

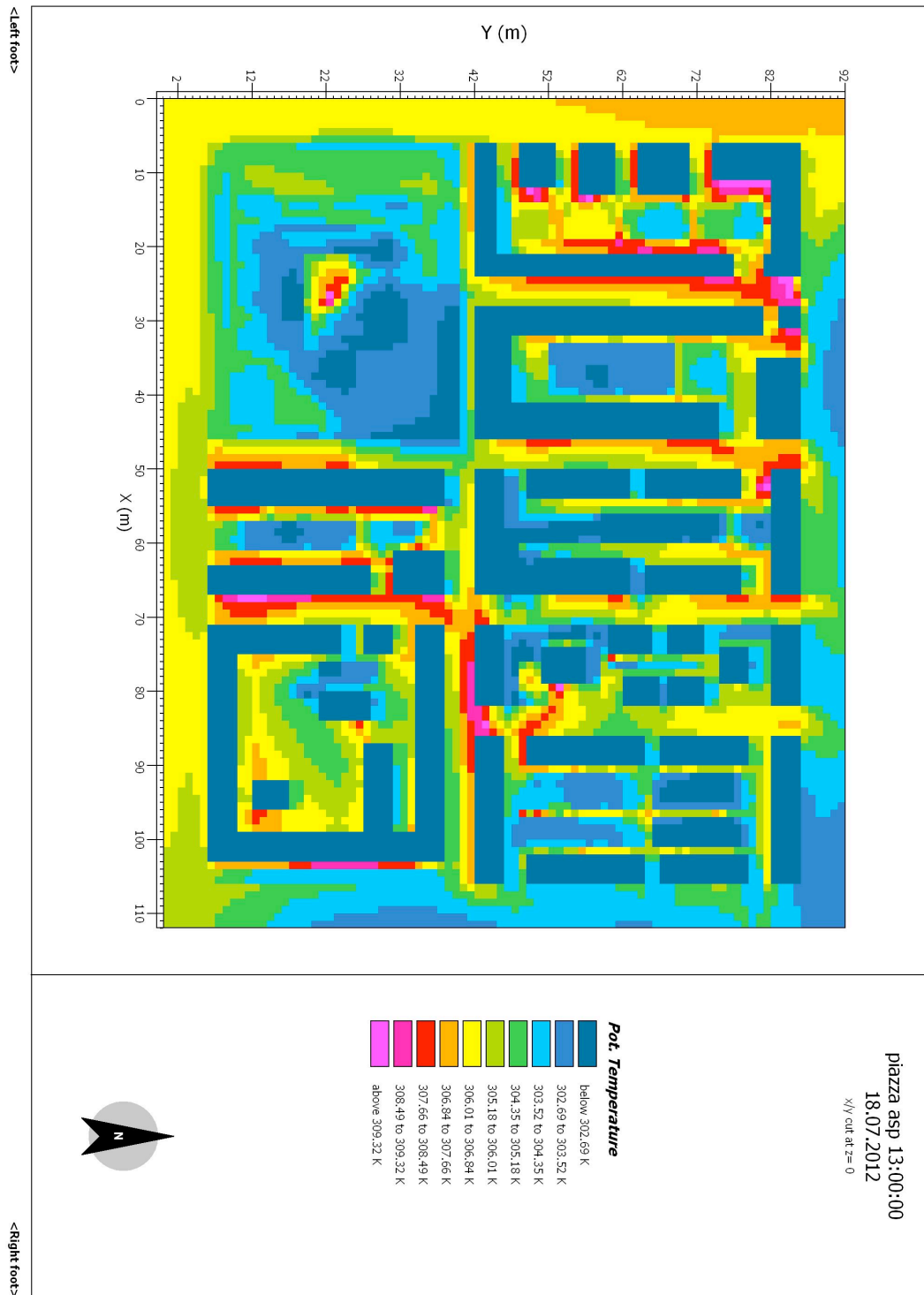
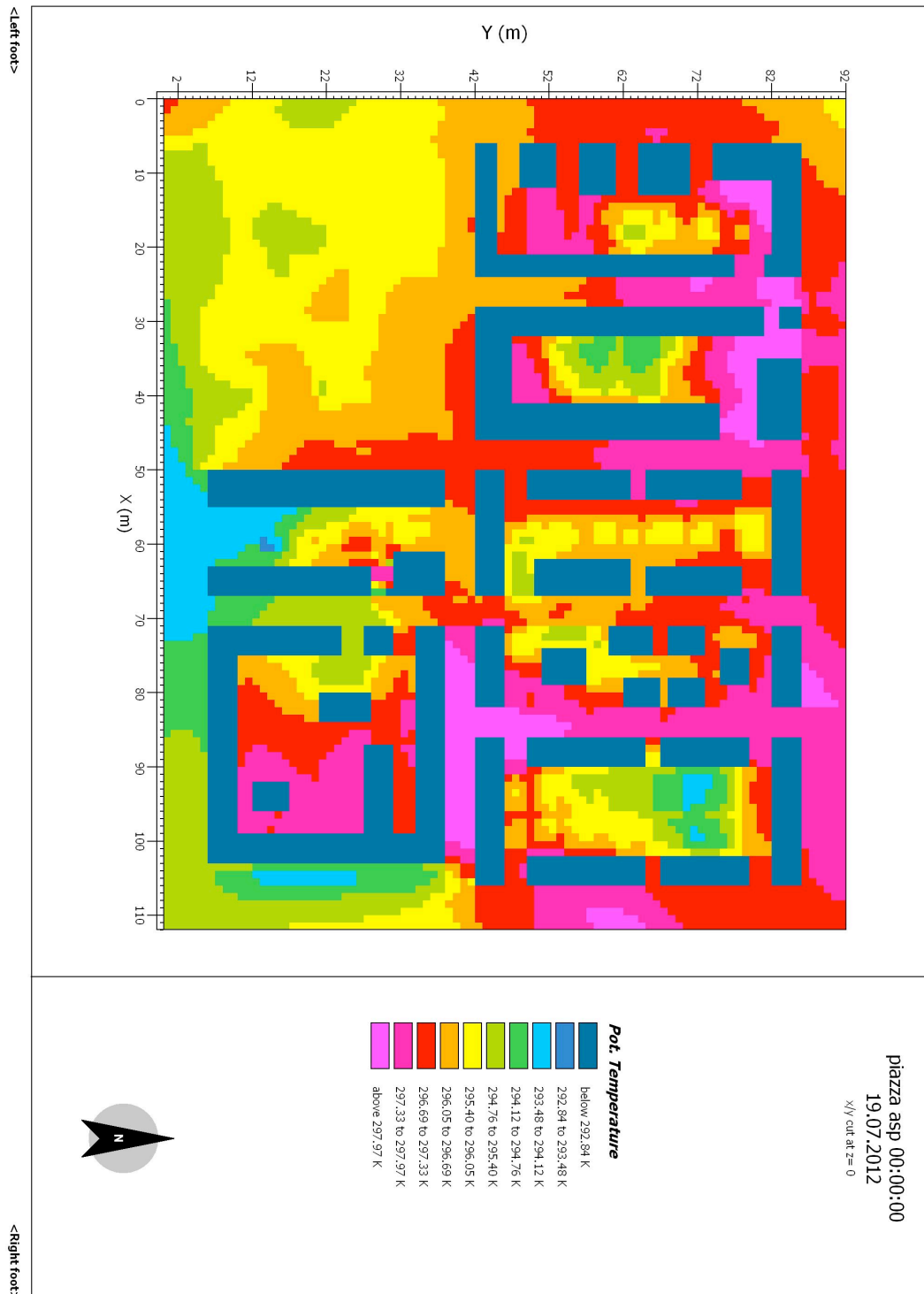


Tavola 3 – Distribuzione della temperatura potenziale alle ore 00:00 in Piazza Aspromonte



8.3.2. La temperatura media radiante

Un altro parametro utile per lo svolgimento della simulazione è la temperatura media radiante: la Temperatura Media Radiante (T_{mr}) è definita come la temperatura di un ambiente fittizio, caratterizzato da pareti aventi tutte la stessa temperatura superficiale, nel quale un oggetto scambierebbe lo stesso flusso radiativo che scambia nell'ambiente reale.

Quindi la temperatura media radiante è indice degli scambi radiativi tra le superfici che delimitano un ambiente e il corpo umano. Negli ambienti esterni gli scambi radianti sono causati da due fenomeni differenti:

- flusso termico emanato per irraggiamento dalle superfici a una data temperatura (per esempio pavimentazioni ed edifici);
- flusso termico dovuto all'irraggiamento solare diretto e diffuso.

Il calcolo della temperatura media è importante perché permette di calcolare la temperatura operante, che altro non è che l'indicatore del benessere delle persone. La temperatura operante t_0 è definita come la temperatura uniforme di una cavità fittizia in cui il soggetto scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa energia che scambia nell'ambiente reale generalmente non uniforme.

Matematicamente la temperatura operante è data da:

$$t_0 = (h_c t_a + h_r t_{mr}) / (h_c + h_r)$$

con:

- h_c = coefficiente di scambio termico convettivo;
- h_r = coefficiente di scambio termico radiante.

Di seguito vengono riportate le mappe cromatiche della distribuzione della temperatura media radiante in Piazza Aspromonte alle ore 13:00 e alle ore 00:00.

Tavola 4 - Distribuzione della temperatura media radiante alle ore 13:00 in Piazza Aspromonte

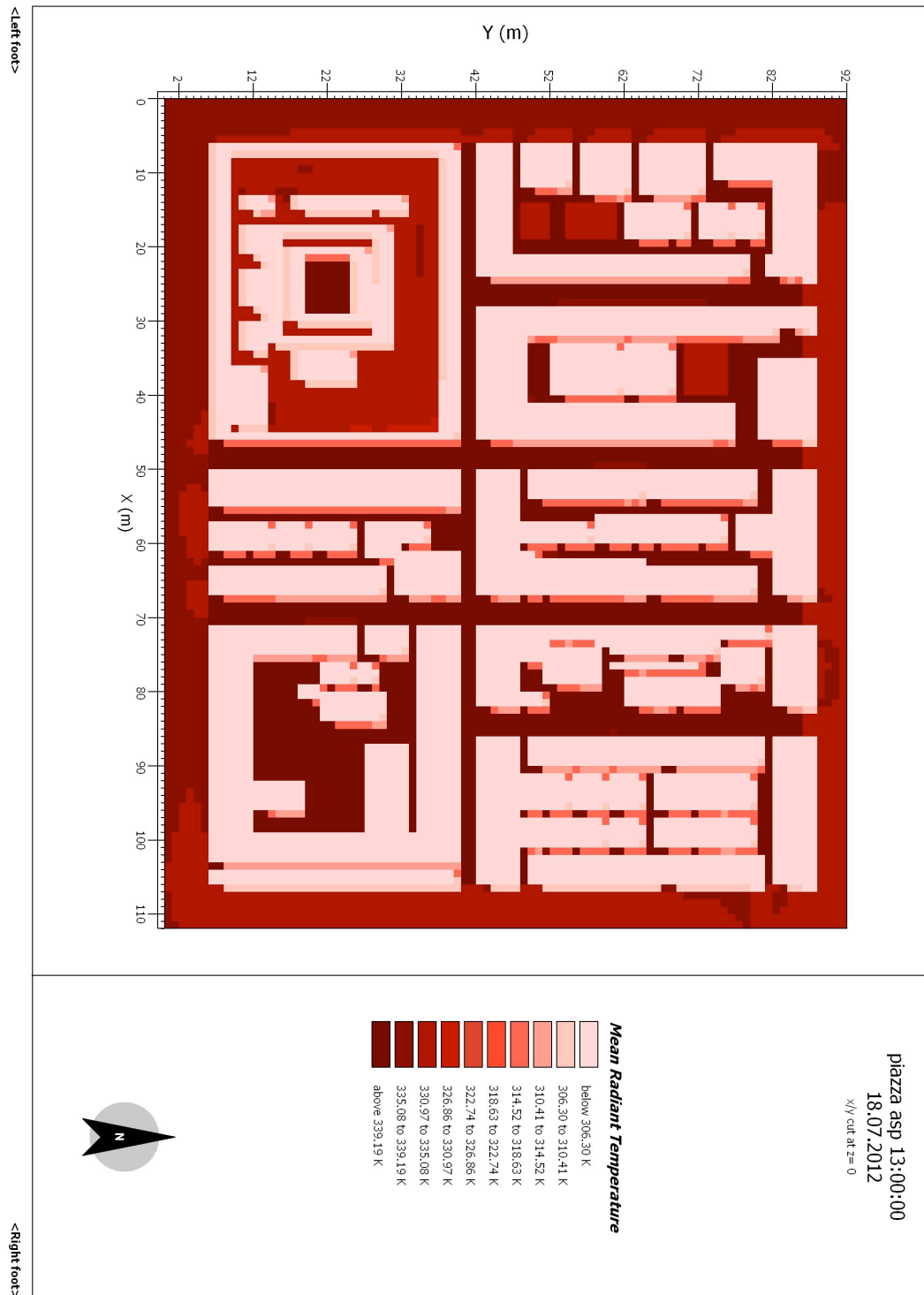
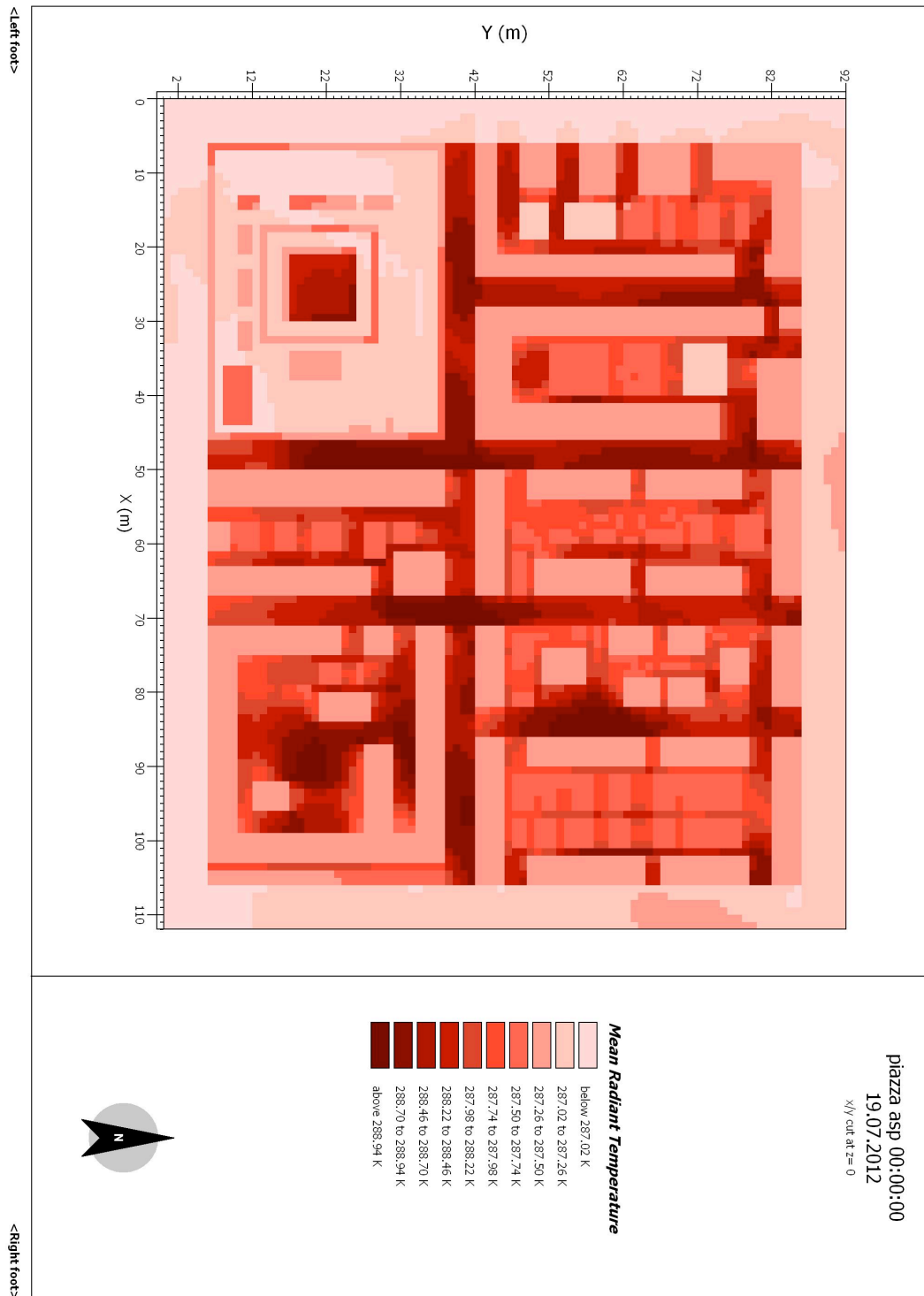


Tavola 5 - Distribuzione della temperatura media radiante alle ore 00:00 in Piazza Aspromonte



Grazie alle due mappe cromatiche sulla distribuzione della temperatura media radiante si possono fare alcune considerazioni interessanti.

Come detto precedentemente una vegetazione composta da alberi più o meno alti ha un effetto mitigante più significativo rispetto ad una vegetazione composta da prato; per la temperatura media radiante il discorso è diverso.

Nella prima mappa cromatica (simulazione alle ore 13:00) si fa a distinguere l'area ricoperta da prato da quella ricoperta da pavimentazione: entrambe infatti, insieme agli edifici, accumulano molto calore durante l'intera giornata, raggiungendo temperature molte alte. Di notte, invece, le zone ricoperte da prato si raffreddano maggiormente rispetto a quelle ricoperte da alberi: si nota infatti il colore più chiaro nella mappa cromatica delle zone con vegetazione bassa. Il lento raffreddamento della zona coperta da alberi è causato dalla chioma degli stessi che non permette lo spostamento verticale dell'aria che quindi si espande orizzontalmente andando a lambire le adiacenti superfici più calde, abbassandone la temperatura.

8.4. *Risultati della simulazione*

Con questo esperimento, grazie all'uso del software Envi-met, sono stati valutati gli effetti positivi della vegetazione sul fenomeno dell'isola di calore urbana. Dopo aver schematizzato in maniera generale l'area di studio ed aver impostato i parametri necessari allo svolgimento della stessa simulazione, sono state estrapolate delle mappe cromatiche di facile lettura, che mostrano appunto gli apporti di macchie verdi all'interno di una città come Milano.

Possono essere fatte alcune importanti riflessioni, che hanno confermato quanto già detto nei capitoli precedenti:

- la vegetazione svolge sicuramente un ruolo fondamentale della mitigazione del calore, sia grazie alla funzione di schermatura che produce sia grazie alla capacità di usare il calore per funzioni di tipo vitale (non rilasciandolo quindi nell'ambiente);
- le zone ricoperte di alberi hanno benefici maggiori rispetto a quelle ricoperte da prato, che comunque risultano migliori delle semplici pavimentazioni;
- non sono necessari grandi porzioni di vegetazione, ma anche piccole zone ben dislocate tra loro possono essere importanti per l'abbassamento della temperatura;
- gli alberi, collocati vicino agli edifici, possono contribuire ad abbassare la temperatura degli stessi, facendo in modo che non assorbano troppo energia durante il giorno.

La simulazione è stata quindi di buon aiuto ai fini dello studio condotto: il verde può e deve essere considerato uno strumento di affidamento per contrastare il fenomeno dell'isola di calore. Per far sì che questo accada è necessaria, però, una buona pianificazione urbana.

9. Conclusioni

L'idea di studiare i cambiamenti climatici ed, in particolare, il fenomeno dell'isola di calore nel contesto urbano nasce dalla volontà di trovare una soluzione pratica ad uno dei problemi di maggior interesse negli ultimi anni.

La città, infatti, è diventata ormai un concentrato di contrapposizioni, una realtà che spesso combatte contro sé stessa per far sì che vengano eliminate o comunque smussate le cause dei disagi all'interno del centro abitato: in questo senso si inserisce e gioca un ruolo fondamentale la pianificazione urbana, non più considerata come un insieme di regole o vincoli da seguire, ma un'estensione più ampia del significato di Governo del territorio, che spazi dal generale al particolare, che abbracci tutti i livelli e tutte le sfere decisionali, in modo da avere un'unità di intenti che porti benefici all'interno di una società.

La formazione della cosiddetta "isola di calore" rappresenta oggi uno dei problemi più tangibili all'interno di un agglomerato urbano, soprattutto se densamente abitato (come ad esempio Milano): tale isola non è altro che una differenza di temperatura che si crea tra ambienti diversamente abitati (solitamente centro urbano e zone di campagna e periferie) a causa dell'urbanizzazione spesso disordinata e di altri fattori, come la scelta dei materiali, i carichi antropogenici e la morfologia della città stessa. Questo sbalzo di temperatura risulta particolarmente pericoloso nella stagione più calda, procurando forti disagi ai cittadini che si trovano nelle grandi città.

Tale problema oggi non può essere più sottovalutato, così come l'aspetto dei cambiamenti climatici in generale, e qualcosa in questa direzione si sta muovendo: progetti pilota, casi di studio, approfondimenti e studi del fenomeno (sebbene in leggero ritardo rispetto alla maggior parte dei paesi europei) cominciando ad entrare di diritto nella quotidianità di chi si occupa di pianificazione, soprattutto a livello urbano.

Grazie anche alle diverse esperienze degli altri paesi è stato possibile trarre diverse considerazioni riguardo il problema e la sua mitigazione, che hanno lo scopo di identificare quelle che sono le soluzioni migliori per contrastare questo pericoloso fenomeno, riscontrabile più facilmente durante la stagione estiva: aumento dell'albedo, maggior diffusione delle aree verdi all'interno di un centro urbano, riduzione dei carichi antropogenici, uso corretto dei materiali.

Tra queste soluzioni è stato studiato come, a differenza della quasi totalità, la maggiore diffusione della vegetazione è sicuramente lo strumento più immediato e di sicura efficacia; anche in termini di costi ha sicuramente un impatto minore. Inoltre, oltre ad apportare effetti positivi futuri, è uno strumento che da subito genera benefici per contrastare l'innalzamento delle temperature.

Per studiare meglio tali benefici sono stati approfonditi alcuni casi di studio (Firenze, Goteborg, Modena, Nonantola) che, in diversa maniera, hanno fornito interessanti considerazioni circa la mitigazione del fenomeno; inoltre hanno dimostrato il reale beneficio nell'avere della vegetazione al posto di materiali che per caratteristiche accumulano molto calore, rilasciandolo di notte, andando ad acuire il problema.

Lo studio fatto a Modena è estremamente descrittivo: grazie a diversi rilevamenti effettuati sia all'interno della città che nelle zone circostanti, è stata dimostrata l'esistenza dell'isola di calore in particolar modo durante la notte, quando il salto termico è arrivato anche agli 8°C.

Il caso di Nonantola è abbastanza significativo: quando si parla di isola di calore, solitamente, si fa riferimento a grandi centri urbani. Questo studio ha dimostrato che anche un piccolo paese (circa 13000 abitanti) può essere soggetto all'innalzamento delle temperature; la causa principale può essere trovata nella tipologia di morfologia del paese, assimilabile per caratteristiche a quella di una metropoli. Come detto più volte precedentemente la pianificazione urbana oggi ha un ruolo fondamentale per la mitigazione del problema.

L'esempio di Firenze ha messo in relazione l'innalzamento delle temperature della città con altre variabili, come ad esempio l'altezza degli edifici o la distanza dal centro città. Sono state effettuate, infatti, diverse misurazioni in diverse fasce della città (partendo dal centro fino alle zone limitrofe) e in diversi contesti (strada, cortili e giardini): è stato dimostrato che la distribuzione della temperatura è collegata alla distanza dal centro, all'altezza media degli edifici e al numero medio di edifici per km². Inoltre si è notato l'apporto benefico migliore dei giardini rispetto a cortili e strada asfaltata: il verde è risultato un ottimo strumento di mitigazione.

L'ultimo caso di studio preso in considerazione è stato quello sviluppato sulla città di Goteborg; è stato studiato l'andamento della temperatura in tre diversi parchi (differenti per estensione) in modo da capire quanto la dimensione del verde possa influenzare il salto termico. È stato, infatti, riscontrato un delta di temperatura più alto nel parco di maggiore grandezza (circa 6°C); inoltre è stato studiato il famoso clima-parco, la porzione di ambiente circostante direttamente influenzato dallo stesso parco: in accordo con quanto affermato con altri studi, si è visto come l'effetto di raffreddamento raggiunge una distanza all'interno dell'agglomerato urbano pari alla stessa larghezza del verde.

La simulazione svolta in questo lavoro di tesi è stata fondamentale per capire il reale apporto benefico della vegetazione all'interno della città. Il software che ha permesso tale approfondimento è stato Envi-met, sviluppato da un università tedesca, con lo scopo di studiare le interazioni microclimatiche tra edifici, vegetazione, albedo e flussi d'aria. Nonostante presenti diversi limiti strutturali, risulta essere abbastanza affidabile soprattutto nelle simulazioni che prendono in considerazione aree verdi e albedo come variabili predominanti.

È stata presa in considerazione Piazza Aspromonte a Milano: la scelta non è stata casuale. Tale piazza si trova in una zona densamente abitata della città, ma è caratterizzata da una porzione di vegetazione non indifferente. La simulazione ha confermato quanto detto durante tutto il lavoro di tesi: anche zone non troppo vaste di verde possono riuscire a mitigare l'effetto dell'isola di calore, andando a migliorare le condizioni di benessere e di salute di migliaia di cittadini (come ad esempio gli anziani) che subiscono il problema nei mesi più caldi dell'anno (luglio e agosto).

Questi risultati sono sicuramente d'aiuto ad una pianificazione che mira al benessere dei cittadini, ad una pianificazione sostenibile che guarda al futuro, ad una pianificazione

che necessità, però, dell'aiuto di tutti, dal singolo cittadino fino al politico, senza i quali risulta difficile se non impossibile la risoluzione del problema.

E devono soprattutto essere di guida per gli sviluppi futuri: il verde, se “usato” bene, è uno degli strumenti più importanti per contrastare l'isola di calore. Può essere fondamentale, per esempio, nella riqualificazione di un quartiere, o nell'adattamento di parti di città, o ancora nella scelta delle nuove costruzioni (basti pensare ai tetti verdi): è necessario, però, che il verde sia studiato ed analizzato e non più considerato come uno strumento meramente decorativo all'interno della città.

Bibliografia

Margelli F., Rossi S., Georgiadis T., Rossi F., *L'isola di calore, l'uomo e il microclima urbano in cui vive*, Laboratorio LaRIA, Bologna, Istituto di Biometereologia di Bologna.

Bonafè G., *Microclima urbano: impatto dell'urbanizzazione sulle condizioni climatiche locali e fattori di mitigazione*, ARPA Emilia-Romagna, 2006.

Lauriola P., *Il progetto Urban HEat Island (UHI) per contrastare il fenomeno delle isole urbane di calore*, ARPA Emilia-Romagna, 2011.

Croce S., *L'isola climatica urbana e il progetto delle città*, 2010.

Giovannini L., *Processi meteorologici a scala urbana*, Facoltà di Ingegneria di Trento, 2011.

Population reference bureau, *Population bulletin*, 2007.

Vallati A., Candidi P., *Analisi dell'influenza della vegetazione sul microclima urbano – Valutazione dei risultati elaborati dal software Envi-met*, Dipartimento di fisica tecnica, Università Sapienza di Roma.

Legambiente in collaborazione con Osservatorio meteorologico di Milano Duomo, *Città: il clima è già cambiato*, Rapporto di Legambiente, 2007.

Beretta S., *Gli effetti del verde sulla mitigazione dell'isola di calore urbana*, Tesi, Politecnico di Milano, 2012.

Bisson M., *Simulazione del microclima urbano di Milano mediante il software Envi-met*, Tesi, Politecnico di Milano, 2009.

Fanchiotti A., Carnielo E., *Impatto di cool materials sulla mitigazione dell'isola di calore urbano e sui livelli di comfort termico negli edifici*, ENEA, Università degli studi Roma Tre, 2011.

Dina A., *Isola di calore urbana: contributi antropogenici e valutazione annuale*, Tesi, Università degli studi di Padova, 2011.

ARPA Emilia-Romagna, *Il sistema di previsione del disegno bioclimatico in Emilia-Romagna – Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni Nonantola (Modena)*.

Petralli M., Prokopp A., Morabito M., Bartolini G., Torrigiani T., Orlandini S., *Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze*, Rivista italiana di Agrometeorologia sezione scientifica, 2006.

Upmanis H., Eliasson I., Lindqvist S., *The influence of green areas on nocturnal temperatures in high latitude city (Gotheborg, Sweden)*, International journal of climatology, 1998.

Musco F., *Città resilienti: l'uso del suolo, il piano urbanistico e l'adattamento*, Università IUAV di Venezia, 2011.

Luise D., *La rete delle città per conoscere e agire*, Ecoscienza, numero 5, 2013.

Filpa A., *Adattamento e governo in aree urbane*, Ecoscienza, numero 5, 2013.

Bussadori V., *La pianificazione come strumento di adattamento ai cambiamenti climatici*, Conferenza sull'adattamento climatico in ambito urbano, 2013.

Sitografia

<http://index.gain.org>

<http://www.comune.modena.it/ilclimadellecitta/pagine/citta-resilienti>

<https://www.google.it/maps/preview>

http://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale

<http://ita.arpalombardia.it/ita/index.asp>