



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA EDILE

RISCALDAMENTO URBANO
URBAN HEATING

Relatore:

Prof. Ing. Francesco Corvaro, PhD

Correlatore:

Prof.ssa Barbara Marchetti

Tesi di Laurea di:

Murinni Antonio

Anno Accademico 2019/2020

*DEDICATA A MIO PADRE,
MIA MADRE E MIA SORELLA.*

INDICE

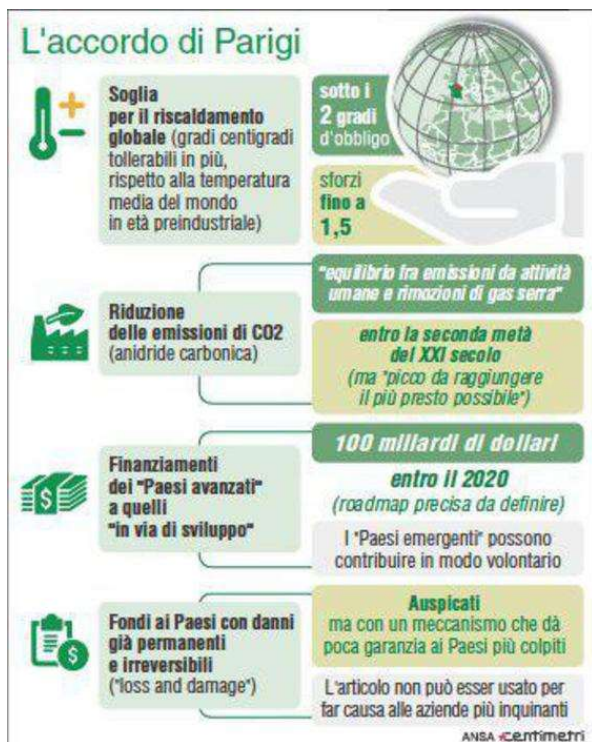
• Introduzione	6
• Presentazione	7
• Capitolo 1	9
• 1.1 <i>Come nascono le isole di calore urbane</i>	9
• 1.2 <i>Classificazione</i>	11
• 1.3 <i>Isola di calore dello strato limite urbano (BLUHI)</i>	12
• 1.4 <i>Isola di calore dello strato della copertura urbana</i>	13
• 1.5 <i>Isole di calore di superficie</i>	14
• 1.6 <i>misurazione delle SUHI</i>	14
• 1.7 <i>Isola di calore del sottosuolo</i>	16
• Capitolo 2	17
• 2.1 <i>Fattori che influenzano</i>	17
• 2.2 <i>Variabili controllabili</i>	22
• 2.2.1 <i>Vegetazione ed aree verdi</i>	22
• 2.2.2 <i>Caratteristiche radiative dei materiali e inquinamento</i>	22
• 2.2.3 <i>Geometria e canyon urbani</i>	24
• 2.2.4 <i>Elementi di rugosità</i>	25
• 2.2.5 <i>Caratteristiche termiche dei materiali</i>	27
• 2.2.6 <i>Calore antropogenico</i>	27
• Capitolo 3	29
• 3.1 <i>Tecniche di mitigazione</i>	29
• 3.2 <i>COOL ROOF</i>	31

• 3.3 <i>GREEN ROOF</i>	31
• 3.5 <i>COOL PAVEMENTS</i>	34
• 3.5.1 <i>Nuovi risultati di ricerca sulle conseguenze della distribuzione di marciapiedi freschi</i>	35
• Capitolo 4	36
• 4.1 <i>Strumenti di acquisizione</i>	36
• 4.2 <i>PIATTAFORME SATELLITARE</i>	37
• 4.2.1 <i>LANDSAT</i>	37
• 4.2.1.1 <i>Multi Spectral Scanner</i>	38
• 4.2.1.2 <i>Thematic Mapper</i>	38
• 4.2.2 <i>ASTER</i>	39
• 4.3 <i>TERMOCAMERE</i>	39
• 4.4 <i>Software di modellazione</i>	41
• 4.4.1 <i>ENVI_MET</i>	41
• 4.4.2 <i>Parametri di base</i>	41
• 4.4.3 <i>Modelli di riferimento</i>	41
• 4.4.4 <i>Simulazioni 3D</i>	42
• 4.4.5 <i>Verde Urbano</i>	43
• 4.4.6 <i>Progettazione architettonica della città</i>	43
• 4.4.7 <i>Town Scope</i>	44

- 4.4.8 Parametri iniziali.....44
- 4.4.9 Strumenti utilizzati.....44
- 4.4.10 Analisi anemometrica.....45
- 4.4.11 Restituzione dell'analisi.....45
- 4.4.12 Comparazione Software45
- Capitolo 5 46
 - 5.1 Interventi in Italia e nel mondo di mitigazione di questi fenomeni 46
- Conclusioni 60
- Bibliografia 62
- RINGRAZIAMENTI.....64

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico sta determinando nelle aree urbane, nell'arco degli ultimi 50 anni, un aumento delle temperature doppio rispetto alle aree rurali. La frequenza delle ondate di calore potrebbe quadruplicare con effetti sulla salute e l'economia. Uno studio effettuato dall'Università di Lovanio, in Belgio, disegna un quadro a tinte fosche per le metropoli di gran parte del mondo sottolineando l'esistenza di diversi studi che



misurano le relazioni tra ondate di caldo e aumento dei ricoveri ospedalieri, calo di produttività, maggiori danni alle infrastrutture e, nei casi peggiori, morte. Lo studio effettuato è riferito su un arco temporale di 35 anni, comparandolo con la frequenza e l'intensità con cui sono stati superati i limiti di guardia. Nel Dicembre del 2015 alla conferenza sul clima di Parigi, 195

paesi hanno sottoscritto il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale. Questo accordo definisce un piano d'azione inteso a evitare cambiamenti climatici pericolosi ed è teso a limitare il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C. I governi hanno infatti concordato di puntare a limitare l'aumento a 1,5°C, inoltre si riconosce la necessità di cooperare e migliorare la comprensione, gli interventi e il sostegno in diversi campi. Infine, i paesi sottoscrittori, hanno inteso mantenere il loro obiettivo complessivo attuale di impegnare 100 miliardi di dollari

all'anno sino al 2020 e di estenderlo, poi, fino al 2025, dopo del quale verrà stabilito un nuovo obiettivo più consistente. Il trend di crescita demografica dei centri urbani è in continua crescita, ed entro il 2050 si prevede che i tre quarti della popolazione vivrà tra i palazzi e non in zone rurali. Attualmente le città occupano appena l'1% della superficie terrestre, ma producono circa l'80% del "PIL" mondiale e consumano il 78% dell'energia. Secondo una ricerca pubblicata su "Nature", nel caso fallisse l'implementazione dell'accordo di Parigi e le emissioni continuassero a salire, nel 2100 ci ritroveremmo città più calde anche di 8°C e questo comporterebbe che in media, una città rischierà di perdere tra l'1,4% e l'1,7% del "PIL" all'anno entro il 2050 e tra 2,3% ed il 5,6% entro il 2100.

PRESENTAZIONE

Il caso di studio che si andrà ad esaminare è incentrato sul riscaldamento all'interno delle città dovuto alla costruzione di strutture sempre più alte e ravvicinate con la conseguente riduzione della velocità del vento all'interno delle zone urbane. Questo fenomeno è stato identificato con il termine "Urban Heat Island". Con lo sviluppo delle città, molta della vegetazione è andata persa in quanto tante superfici sono pavimentate o occupate da edifici; il cambiamento delle caratteristiche della superficie del terreno comporta un minore scudo e minore umidità, elementi che sono determinanti per mantenere le aree urbane fresche. Le aree con maggiori zone di costruito determinano una diminuzione di evaporazione dell'acqua su grandi superfici che influisce sulla temperatura dell'aria. Anche i materiali utilizzati per la realizzazione degli edifici contribuiscono al fenomeno delle isole di calore urbano, dato che determinano come

l'energia del sole viene riflessa, assorbita ed emessa. Si riscontra, inoltre che possono avere effetto anche sulle comunità, soprattutto nei periodi estivi, a causa di una maggiore domanda di energia di picco, che procura quindi inquinamento, emissioni di gas dalle "greenhouse", malori dovuti al calore, casi di mortalità e scarsa qualità dell'acqua e dell'aria. Nell' Ottobre del 2008 è stato pubblicato il "*Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies*" che descrive le cause e gli impatti delle isole di calore urbane nei periodi estivi e che promuove strategie per la diminuzione delle temperature nelle comunità statunitensi.

Per identificare e risolvere le isole di calore urbano, come prima cosa, si dovranno individuare gli obiettivi, focalizzando preliminarmente gli sforzi sul trovare ed analizzare informazioni. In seguito si può procedere con un approccio globale che coinvolga aree geografiche definite, identificando orari specifici del giorno e stagioni. Una volta designato l'approccio si potranno usare le informazioni raccolte per identificare le risorse esistenti, riferimenti a protocolli dettagliati e metodologie per collezionare ed analizzare le temperature.

I due più comuni motivi per effettuare una valutazione dell'isola di calore sono:

1. Comprendere l'implicazione energetica. Individuare cioè le maggiori aree urbane che evidenziano la domanda più alta per aria condizionata ed i consumi energetici più alti nei periodi miti dell'anno, confrontando i risultati con quelli delle aree limitrofe e quantificando così l'impatto energetico.

2. Individuare il rischio per la salute pubblica. Le isole di calore contribuiscono ad impoverire la qualità dell'aria e aumentare l'impatto degli eventi di calore mettendo la salute maggiormente a rischio. Identificare i punti di calore in una città può aiutare a focalizzare gli interventi dove è maggiormente utile intervenire durante le ondate di calore.

Dopo aver chiarito gli obiettivi, si è in grado di definire le aree geografiche da valutare. Come detto, questo fenomeno comporta un aumento delle temperature con conseguente disagio sia per le strutture, che lavoreranno a temperature di esercizio maggiori di quelle calcolate, sia a livello di confort per gli abitanti.

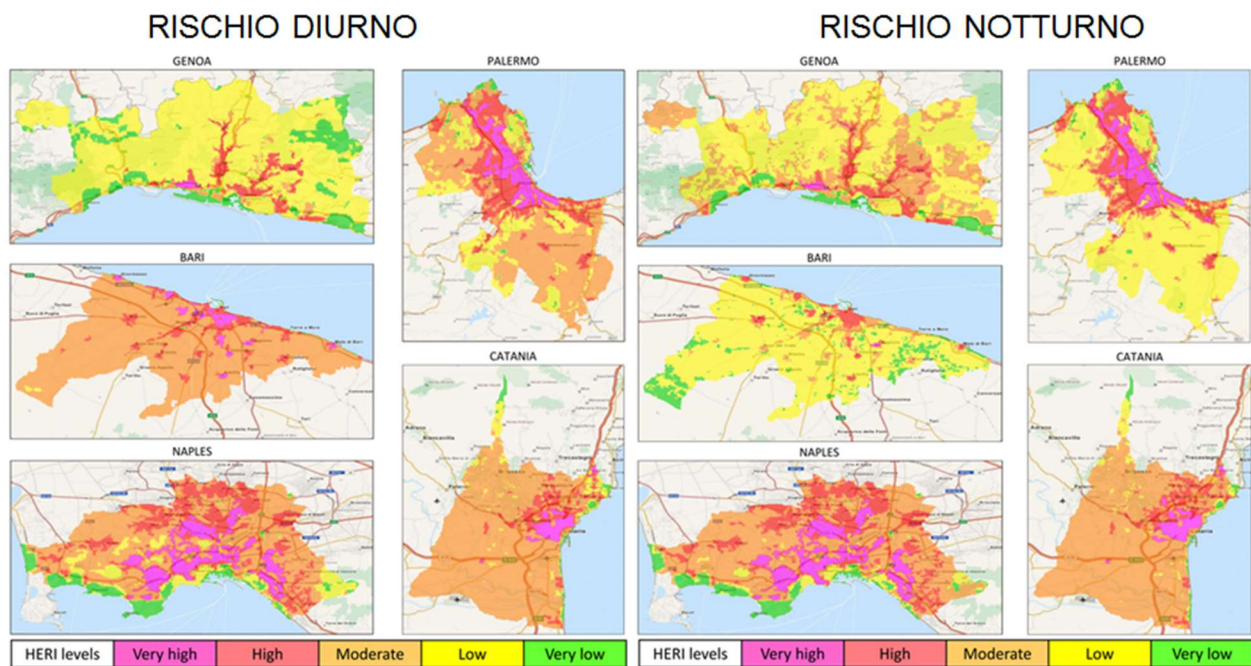
Come già detto, questo argomento è divenuto oggetto di studi solo nell'ultimo decennio non solo all'interno del mondo scientifico ma anche a livello internazionale con collaborazioni tra gli Stati.

CAPITOLO 1.

1.1 Come nascono le isole di calore urbane

Il termine isola di calore urbana (Urban Heat Island - UHI) è utilizzato per indicare il fenomeno che determina temperature maggiori nelle aree cittadine rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali, utilizzate come riferimento. Nonostante l'effetto sia stato osservato per la prima volta nel 1818 a Londra dal meteorologo Luke Howard, il nome isola di calore compare in letteratura solamente nel 1958 in un articolo di Gordon Manley sul Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society. L'indicatore utilizzato per quantificare questo scostamento è l'intensità dell'isola di calore (UHI

intensity – UHII), definita come differenza tra la temperatura urbana e quella rurale. Secondo Oke (1982) le zone cittadine caratterizzate da maggiore intensità sono le aree ad alta densità edilizia, che rappresentano quindi le “cime” dell’isola nella mappatura tramite isoterme. Molti fattori contribuiscono alla formazione delle isole di calore urbane, in questo capitolo focalizzeremo la nostra attenzione sulle coperture vegetali e sulle proprietà delle superfici. Nelle aree rurali la vegetazione e negli spazi aperti, tipicamente dominati da paesaggi con alberi e vegetazione che fungono da scudo, aiutano ad abbassare la temperatura della superficie. Possono anche aiutare a ridurre la temperatura dell’aria attraverso un processo chiamato evaporazione, in cui le piante rilasciano acqua nell’aria circostante, dissipando il calore dell’ambiente. Al contrario, le aree urbane sono caratterizzate da siccità, superfici impervie come i tetti convenzionali, marciapiedi, strade e parcheggi. Con lo sviluppo della popolazione molte aree vegetative sono andate perse e molte altre superfici sono pavimentate coperte con edifici.



Morabito M, Crisci A, Gioli B, Gualtieri G, Toscano P, et al. (2015) Urban-Hazard Risk Analysis: Mapping of Heat-Related Risks in the Elderly in Major Italian Cities. PLoS ONE 10(5): e0127277. doi:10.1371/journal.pone.0127277
<http://127.0.0.1:8081/plosone/article?id=info:doi/10.1371/journal.pone.0127277>

1.2 Classificazione

Esistono diverse tipologie di isole di calore quali:

- Isola di calore atmosferiche (UHI-AUHI)
- Isola di calore di superficie (UHI-SUHI)
- Isola di calore del sottosuolo (UHI)

Queste tre tipologie anche se correlate si differenziano per quanto riguarda origine, tecniche di misurazione e dinamiche temporali. Le isole di calore di superficie raggiungono la massima intensità durante il giorno, mentre quelle atmosferiche, che a loro volta si dividono in “Boundary Layer Heat Island” o BLUHI che interessa lo strato al di sopra dell’altezza media degli edifici e “Canopy Layer Urban Heat Island” o CLUHI ubicato sotto l’altezza media degli edifici, si manifestano in prevalenza di

notte e al contrario risultano essere negative di giorno. L'isola di calore atmosferica viene misurata utilizzando dei termometri tradizionali a postazione fissa o indirettamente tramite le proprietà delle onde. I dati ottenuti, in base alla metodologia utilizzata, dovranno essere analizzati diversamente. I risultati di un campionamento tramite autovettura nell'Urban Canopy Layer forniranno una situazione limitata alle temperature dell'aria al di sopra della superficie stradale. A differenza di quella atmosferica, la misurazione dell'isola di superficie avviene tramite telerilevamento, utilizzando quindi dei sensori che potranno interagire a distanza con le superfici d'interesse e misurarne la radiazione infrarossa emessa.

1.3 Isola di calore dello strato limite urbano (BLUHI)

È caratterizzato da una forma a cupola se le condizioni precedentemente definite come “ideali” fossero verificate. Nella realtà, tuttavia, l'intensità dei venti determina una configurazione tipica della zona termicamente alterata. Sottovento l'alterazione può propagarsi per decine di chilometri oltre la città. Mentre l'estensione orizzontale dipende dal vento, l'estensione verticale dipende dall'ora del giorno e dal riscaldamento della superficie urbana. Per comprendere l'evolversi dello strato limite urbano e individuarne le differenze rispetto alle zone rurali, va introdotto il concetto del limite planetario o “PBL”. Questo strato limite è la porzione di Troposfera direttamente influenzata dalla superficie, che risponde all'immissione di energia da essa proveniente con scale temporali dell'ordine dell'ora. Tra tutti i fattori che possono influire sull'alterazione del PBL, il più importante è il trasferimento di calore che arriva

dal suolo con l'alternarsi del giorno e della notte dando una ciclicità giornaliera alla struttura del limite planetario. Dopo il sorgere del sole, il calore fornito al suolo viene ceduto all'aria atmosferica e avviene la formazione dello strato di rimescolamento, caratterizzato da moti convettivi; al tramonto si trasforma nello strato residuo, ma questo è presente solamente in quota, poiché al suolo si crea un ulteriore strato chiamato limite stabile notturno. La conoscenza del PBL, consente di affrontare più dettagliatamente l'analisi dell'isola di calore dello strato limite urbano. Durante il periodo diurno la configurazione del UBL è simile a quella presente nelle aree extraurbane, ma lo strato convettivo di rimescolamento è caratterizzato da aria più calda, secca inquinata e turbolenta a causa della più alta temperatura delle superfici. Lo strato di rimescolamento urbano si differenzia anche in relazione dell'altezza, maggiore di 250 mt rispetto lo strato rurale. Nel periodo notturno la diversità rispetto le aree rurali sono spesso più marcate, gli elementi di rugosità della città e il calore mantengono uno strato limite convettivo superficiale quando uno strato stabile si è già sviluppato sulla campagna circostante. Quest'ultimo non è quindi situato al suolo, ma ad un'altezza di 100/300 mt. Al livello del terreno la differenza tra temperatura urbana e rurale è massima e l'intensità diminuisce all'aumentare della quota diventando negativo alla sommità dell'UBL o meglio detto "crossover".

1.4 Isola di calore dello strato della copertura urbana

Definiamo UCL lo strato atmosferico al di sotto dell'altezza media degli edifici. L'influenza diretta che la temperatura dell'aria ha verso il comfort termico è il motivo

della maggiore attenzione riservata a questa tipologia. La media annuale di alterazione di una grande città è di 1-3°C, ma in condizioni favorevoli possiamo arrivare anche a 12°C. Tuttavia alcune città non rispettano le dinamiche classiche, per esempio Atene presenta intensità del fenomeno maggiori di giorno, mentre Seul si caratterizza per maggiori differenze termiche nel periodo invernale rispetto alle aree rurali. Grazie a tali diversità si intuisce che il fenomeno delle isole non presenta le stesse caratteristiche in qualsiasi area urbana anzi è influenzato in modo significativo.

1.5 Isole di calore di superficie

Le superfici urbane possono raggiungere temperature fino a 50°C in più rispetto a quelle dell'aria sovrastante durante il periodo estivo. Un asfalto nero, infatti, può arrivare a temperature superficiali di 85°C, anche se non è rappresentativo di ogni superficie urbana, poiché dipende da vari fattori come esposizione, inclinazione, condizioni atmosferiche e proprietà del materiale. Se si prende in considerazione una superficie più umida oppure ombreggiata, tipica di zone rurali, le temperature rilevabili non si discostano in maniera significativa da quella dell'aria. In città si osservano temperature maggiori delle superfici sia di giorno che nelle ore notturne, l'intensità del SUHI non è costante durante la giornata e si modifica al variare delle radiazioni solari in genere di 10/15°C di giorno e di 5/10°C di notte.

1.6 misurazione delle SUHI

Le misurazioni con tecniche dirette, tramite termocoppie o termoresistenze, vengono utilizzate per investigare aree urbane limitate; per l'analisi di zone più ampie vengono

spesso utilizzati telerilevamenti. Per quelle indirette, che stimano la temperatura della superficie attraverso le radiazioni infrarosse, i dati saranno acquisiti dai satelliti, aerei o da postazioni in prossimità del suolo. Nel 2001 dei ricercatori a Chapman hanno sviluppato modelli numerici che forniscono in output la temperatura superficiale di un sito mappato geometricamente e individuano le caratteristiche dei materiali. I metodi indiretti mettono a disposizione dati relativi ad ampie zone tramite immagini termiche. Naturalmente le informazioni provenienti da sensori satellitari rispetto a quelli rilevati da aereo-ricognizioni avranno risoluzioni spaziali differenti.

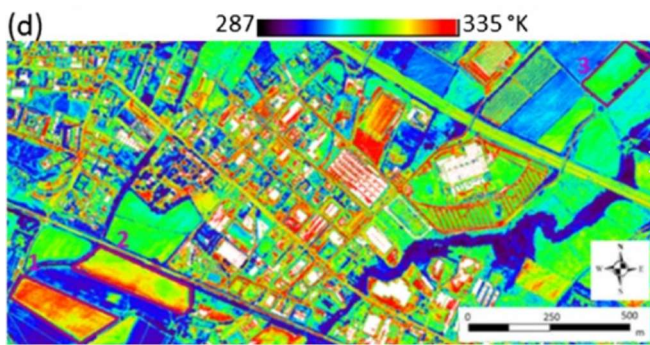


Immagine termica da aereo di Pontecagnano (SA)

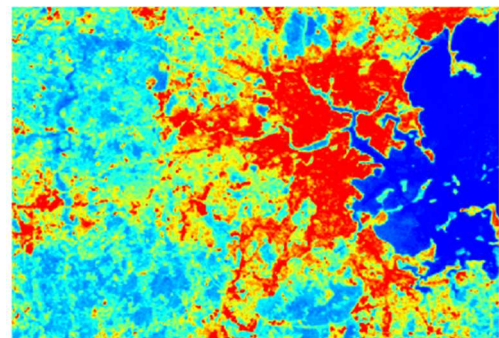


Immagine termica satellitare

I principali effetti che modificano la radiazione infrarossa ricevuta sono l'influenza dell'atmosfera, nel percorso dal suolo al sensore e la riflessione della radiazione atmosferica da parte della superficie. Un segnale "L" ottenuto da un sensore posto ad h e angolo di vista θ rispetto alla normale al suolo è esprimibile come sommatoria di tre componenti:

$$L(h,\theta) = \tau(h,\theta) \varepsilon L_0 + \tau(h,\theta)(1-\varepsilon)L_{\text{sky}} + L_a$$

- la radiazione emessa dalla superficie considerata εL_0 , ridotta a causa dell'intercettazione atmosferica dal fattore $\tau (h, \theta)$;

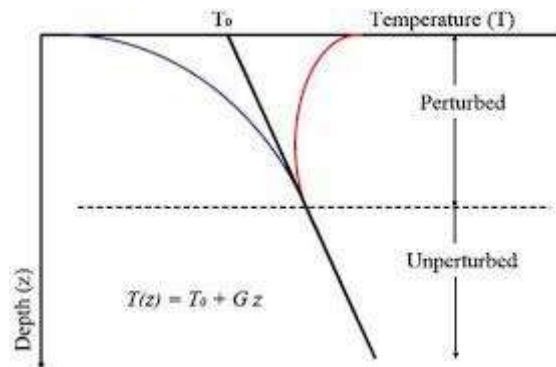
- la quota della radiazione atmosferica riflessa $(1 - \varepsilon) L_{sky}$, anch'essa ridotta dal fattore $\tau(h, \theta)$;
- la radiazione L_a emessa dall'atmosfera nel percorso dal suolo al sensore.

Tuttavia questa è approssimabile alla vera temperatura “cinetica” solo per superfici piane omogenee. Il segnale proveniente dalle aree urbane necessita di un'ulteriore correzione, poiché la complessa geometria provoca una dipendenza del rilevamento dalla posizione, che può indurre una distorsione dello stesso ordine di grandezza dell'influenza atmosferica. Combinando i dati provenienti da diverse piattaforme di telerilevamento con le informazioni strutturali degli edifici urbani, si è potuto sviluppare un metodo per valutare anche le superfici verticali. La disponibilità di temperature relative alla superficie completa può consentire ai ricercatori di perfezionare lo studio della climatologia urbana.

1.7 Isola di calore del sottosuolo

Le anomalie termiche oltre che propagarsi nell'atmosfera si propagano anche nel sottosuolo. A tale fine Huang nel 2008 mise a confronto la serie storica delle temperature di Osaka con il profilo di temperatura del sottosuolo relativo. La forma del profilo è controllata sia dal flusso di calore endogeno che dallo storico delle temperature superficiali, un profilo a linea retta è presente se la temperatura superficiale non cambia nel tempo, mentre un riscaldamento epidermico modifica il profilo verso valori di temperatura crescenti. Secondo i ricercatori questa differenza è imputabile alle isole di calore, il cui effetto potrebbe essere sottostimato se limitato alle sole rilevazioni atmosferiche. Nel 2004 Ferguson e Woodbury sostennero le

osservazioni fatte sui siti ad Osaka affermando che l'aumento di temperatura dipende dall'età, dalla densità degli edifici e dalla distanza del punto di misurazione degli edifici stessi.



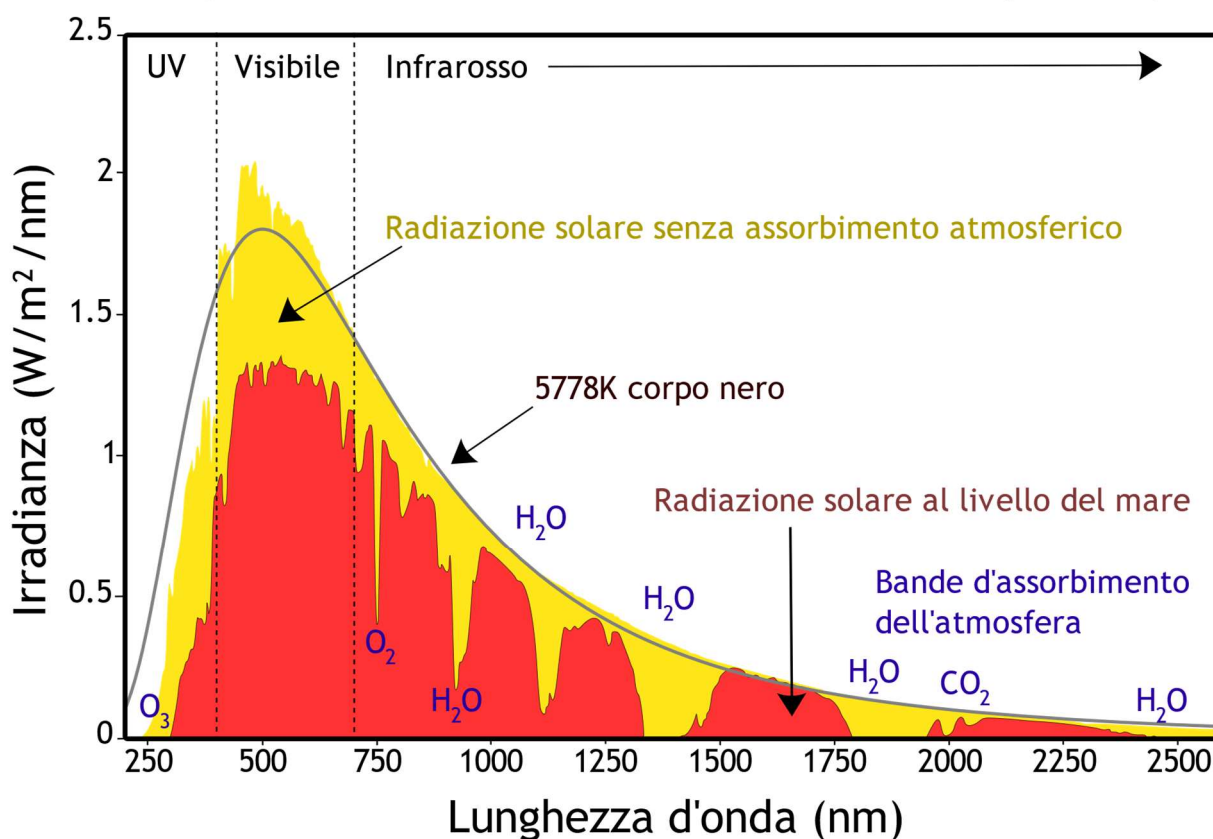
modellazione delle tre tipologie di profili di temperatura del sottosuolo possibili:
 temperatura superficiale stabile (linea nera), in crescita (linea rossa), in diminuzione (linea blu)

CAPITOLO 2

2.1 Fattori

Tra i fattori che influenzano la creazione di isole di calore rientrano anche le proprietà dei materiali utilizzati nelle costruzioni, in particolare, quelli riflettenti, emissioni termiche e quelli che assorbono calore. Questi determinano come l'energia del sole è riflessa, emessa ed assorbita. L'energia solare è composta da raggi ultravioletti, luce visibile e energia infrarossa che raggiungono la Terra in percentuali diverse. Il 5% è composto da raggi nello spettro dell'UV, il 43% è luce visibile ed il 52% è infrarosso percepito come calore.

Spettro della radiazione solare (Terra)



La maggior parte dell'energia del sole è nella lunghezza d'onda del visibile e la riflettanza dei materiali è correlata al colore degli stessi. Per valutare la riflettanza o l'assorbimento dei vari materiali questi vengono paragonati ad un ideale chiamato corpo nero. Questo è inteso come un assorbitore ed emettitore perfetto, dotato della proprietà di assorbire tutta la radiazione da qualsiasi direzione e qualunque lunghezza d'onda provenga ad una stabilita temperatura e lunghezza d'onda. Nessuna superficie può emettere più energia di un corpo nero ed un corpo nero è un emettitore diffuso, ovvero la radiazione emessa è la stessa in tutte le direzioni. Attraverso la Legge di Stefan-Boltzmann si esprime in maniera semplice l'emittanza totale di un corpo nero alla temperatura T:

$$M_N = \sigma_{SB} \cdot T^4 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Dove σ_{SB} è la costante di Stefan-Boltzmann: $\sigma_{SB} = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

Una superficie reale, a differenza del corpo nero, non sarà né perfettamente assorbente né perfettamente emittente, perciò sarà paragonata al corpo nero. Per la valutazione verrà introdotta una nuova grandezza, cioè l'emissività, intesa come il rapporto tra il potere emissivo della superficie in esame e quello del corpo nero alla stessa

temperatura $\varepsilon(T) = \frac{M(T)}{M_N(T)}$.

Una buona approssimazione al comportamento di una superficie reale è quello di un corpo "grigio", utilizzando le seguenti relazioni di calcolo :

$$M(T) = \varepsilon \cdot M_N(T) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Potere Emissivo} \quad q = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Potenza Termica.}$$

Le comunità abitative generalmente riflettono meno e assorbono di più l'energia del sole. Questo assorbimento di calore aumenta di conseguenza la temperatura sulle superfici, che contribuisce alla formazione di superfici e atmosferiche isole di calore urbane. L'emittanza termica è la misura dell'abilità di una superficie di fare da schermo di calore o emettitore di radiazioni ad onde lunghe (infrarossi); molti materiali da costruzione, ad eccezione del metallo, hanno valori di elevata emittanza termica.

Un'altra importante proprietà che influenza l'aumentare delle isole di calore è l'abilità dei materiali di immagazzinare calore.

Alcuni materiali da costruzione come l'acciaio e la pietra, hanno maggiore capacità rispetto ai materiali rurali, come terra asciutta e sabbia.

Valori indicativi sono dell'emissività nell'infrarosso	
Materiali non metallici	$\varepsilon > 0,8$
Cemento	$\varepsilon = 0,8 + 0,9$
Superfici metalliche lucidate	$0,03 < \varepsilon < 0,04$
Superfici metalliche ossidate	$0,6 < \varepsilon < 0,9$
Pelle ($\theta = 90^\circ$)	$\varepsilon \approx 0,9$
Vetro	$\varepsilon = 0,9 + 0,95$
Acqua	$\varepsilon = 0,96$

Quanto sopra determina che, come risultato, le città sono tipicamente più efficaci come immagazzinatori di energia solare sotto forma di calore all'interno delle infrastrutture.

Le aree metropolitane del centro possono assorbire e immagazzinare due volte la quantità di calore rispetto alle zone rurali nei dintorni durante il giorno. Un altro fattore che influenza lo sviluppo delle isole di calore urbane, particolarmente di notte è la geometria urbana, cioè le dimensioni degli edifici e lo spazio tra loro all'interno delle città. La geometria urbana, l'andamento del vento e l'assorbimento dell'energia danno alle superfici l'abilità di emettere le radiazioni ad onde lunghe indietro allo spazio. Soprattutto di notte, l'aria sopra i centri urbani è generalmente più calda dell'aria sulle aree rurali. Le isole di calore notturne hanno serie implicazioni per la salute dei residenti delle aree urbane durante le ondate di calore. Spesso i ricercatori si concentrano su un aspetto della geometria urbana chiamato "canyon urbano", che può essere spiegato immaginando una strada relativamente stretta fiancheggiata da edifici

alti. Durante il giorno, i canyon urbani possono avere effetti contrastanti. Da un lato palazzi alti possono fungere da scudi, riducendo superfici e temperature dell'aria, dall'altra parte, quando la luce del giorno raggiunge la superficie del canyon, l'energia del sole è riflessa e assorbita dai muri degli edifici e può aumentare le temperature. Di notte, i canyon urbani generalmente impediscono il raffreddamento, poiché gli edifici e le strutture possono ostruire il dissipamento del calore che viene rilasciato dalle infrastrutture urbane. Altri fattori da considerare saranno sicuramente, il tempo meteorologico e la posizione che influenzeranno fortemente la formazione delle isole di calore urbane. Due caratteristiche primarie del tempo meteorologico sono il vento e le nuvole. In generale, durante periodi di vento calmo e cieli chiari si registrano aumenti di temperatura perché queste condizioni massimizzano l'ammontare di energia solare raggiunta dalle superfici urbane e minimizzano l'ammontare di calore che può essere dissipato tramite convezione. Al contrario, durante venti forti e cieli coperti la formazione viene soppressa. Clima e topografia sono in parte determinate dalla posizione geografica della città. Larghi bacini d'acqua con temperature moderate possono generare venti convettivi che possono allontanare il calore dalle città. Dall'altra parte catene montuose vicine possono bloccare i venti dal raggiungere le città oppure creare venti modellati che passano attraverso le città stesse.

2.2 Variabili controllabili

Al fine di mitigare il fenomeno è fondamentale conoscere le attività umane e le modifiche ambientali che condizionano il bilancio energetico urbano.

2.2.1 Vegetazione ed aree verdi

La presenza di un terreno coperto da vegetazione potrebbe contribuire all'abbassamento della temperatura epidermica urbana grazie all'evaporazione e all'ombreggiamento. Due processi sono alla base, cioè l'evaporazione e la traspirazione vegetale. Il primo esprime il passaggio allo stato gassoso dell'acqua presente su delle superfici, il secondo indica il trasferimento nell'atmosfera attraverso gli stomi fogliari dell'acqua precedentemente assorbita dalle radici. L'assenza di questi processi è la causa principale dell'aumento delle temperature diurne nelle città. Nelle aree urbane il rapporto di Bowen β (rapporto tra il flusso di calore sensibile e latente), può assumere valori elevati vicini a 5 contrariamente alle aree rurali dove il valore tipico è di 0.5. Tuttavia β è molto variabile e dipende dalle precipitazioni.

2.2.2 Caratteristiche radiative dei materiali e inquinamento

Per esaminare le modalità di influenza delle due variabili nella generazione dell'effetto isola di calore è opportuno scomporre la radiazione netta Q^* nelle sue componenti:

$$Q^* = K\uparrow + K\downarrow + L\uparrow + L\downarrow$$

distinguendo tra la radiazione solare, ad onda corta K , con la radiazione infrarossa ad onda lunga L e separando le componenti verso l'alto, dal suolo all'atmosfera, e le componenti verso il basso, dal sole e dall'atmosfera verso il suolo.

$K \uparrow$ = radiazione solare riflessa dalla superficie

$K \downarrow$ = radiazione solare incidente (diretta dal sole e diffusa dall'atmosfera)

$L \uparrow$ = radiazione infrarossa uscente (riflessa ed emessa dalla superficie)

$L \downarrow$ = radiazione infrarossa diffusa (dall'atmosfera verso la superficie)

È possibile introdurre, a questo punto, la legge di Stefan-Boltzmann e Kirchoff per modificare l'equazione precedente introducendo il concetto di albedo.

Indicato con "a" indica la frazione di radiazione incidente che viene riflessa da una superficie, l'equazione modificata diventa in seguito alle sostituzioni :

$$Q^* = -a K \downarrow + K \downarrow - \epsilon_{IR} \sigma T^4 - (1 - \epsilon_{IR}) L \downarrow + L \downarrow$$
$$Q^* = (1-a) K \downarrow - \epsilon_{IR} \sigma T^4 + \epsilon_{IR} L \downarrow$$

Dove:

- "a" rappresenta l'albedo,
- ϵ_{IR} coefficiente di emissività nell'infrarosso,
- σ la costante di Stefan-Boltzmann
- T la temperatura della superficie.

La modifica al bilancio radiativo dipende innanzitutto dalle caratteristiche radiative delle superfici, i materiali presenti in città sono caratterizzati da un'albedo inferiore rispetto alle campagne e quindi coefficienti di assorbimento maggiore. Nel caso di vegetazione spontanea o coltivata, l'albedo è dello 0.23/0.3, mentre nelle città il valore più basso, mediamente, può raggiungere 0.05 (superfici asfaltate).

La diminuzione dell'albedo "a" delle superfici urbane è compensata dalla diminuzione della radiazione solare incidente K_{\downarrow} provocata dagli inquinanti atmosferici, mentre l'aumento della radiazione infrarossa superficiale è causata dalle maggiori temperature. Per tali fattori la differenza di Q^* tra aree urbane e rurali non supera il 5%.

2.2.3 *Geometria e canyon urbani*

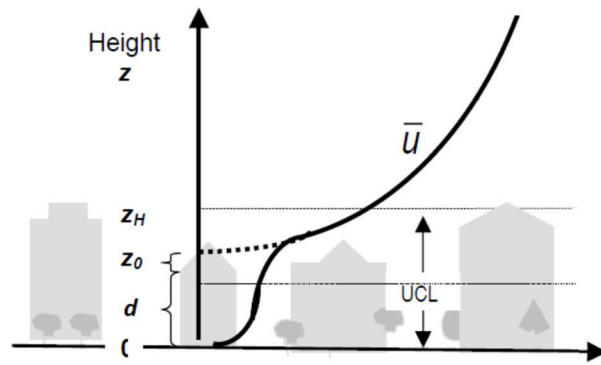
Un ulteriore elemento che influenza la radiazione netta è la disposizione geometrica degli edifici, che è in grado di modificare i percorsi della radiazione. Nonostante ogni città presenti un proprio assetto geometrico, è possibile individuare un'unità geometrica urbana presente in maniera diffusa: il canyon urbano. Consiste nella combinazione di due superfici verticali e di una orizzontale, individuabili in edifici adiacenti con una strada posta tra essi. Questo fenomeno 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 canyon catturano una maggiore quantità di radiazione solare, intrappolata dalle numerose riflessioni multiple che i raggi solari subiscono da parte delle pareti e del fondo stradale, conservando le isole di calore anche nelle ore notturne. Naturalmente non tutti i canyon urbani influenzano allo stesso modo gli scambi energetici; per caratterizzare significativamente la geometria dei canyon bisogna individuare: l'orientamento rispetto ai punti cardinali, il rapporto H/W tra le altezze, la larghezza della struttura ed i fattori di vista. Il rapporto H/W descrive quanto gli edifici siano densamente spaziali

rispetto alla loro altezza; all'aumentare del rapporto indica una diminuzione della porzione di cielo visibile dall'interno del canyon. Una misura però più flessibile ed utilizzata per quantificare l'influenza della geometria è lo sky view factor o SVF " ψ_s ", definito come il rapporto tra la radiazione ricevuta da una superficie planare e la radiazione emessa dall'intero ambiente emisferico compreso tra 0 e 1. Se consideriamo un punto dalla superficie urbana, la radiazione proveniente dal punto in parte raggiunge il cielo e in parte viene assorbita dalle superfici circostanti. È possibile calcolare lo SVF di un sito sottraendo da uno tutti i fattori di forma delle superfici "viste" dal punto. La riduzione dello Sky View Factor nei canyon urbani è considerata una delle principali cause dell'isola di calore urbana al di sotto dell'altezza media degli edifici, comportando una diminuzione delle perdite radiative notturne in presenza di vento debole, come supportato dalle osservazioni di Oke nel 1982 trovando una correlazione tra l'SVF e l'intensità notturna dell'isola di calore urbana in varie città.

2.2.4 Elementi di rugosità

Le costruzioni sono degli ostacoli aereodinamici, che riducono l'asportazione del calore, da parte del vento, quanto più sono di dimensioni rilevanti e sono posti a distanza ravvicinata.

Introduciamo un parametro in più definito con "d" per considerare la velocità del vento del 10% inferiore del PBL. L'altezza di spostamento: $U(z) = \frac{u^*}{k} \left[\ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right) - \psi m(\zeta) \right]$



Velocità media orizzontale del vento \bar{u} in zona urbana

Il nuovo termine si aggiungerà alla legge logaritmica dove:

- z è la quota,
- z_H l'altezza media degli edifici,
- z_0 la lunghezza di rugosità aereodinamica,
- k è la costante di von Karman di circa 0.4,
- u^* l'effetto delle forze viscosse,
- ψ_m l'influenza della stabilità atmosferica.

Il valore di “ d ” dall'altezza e dalla densità degli edifici, però si potrà stimarla tramite la formula $d = 2/3 z_H$, nelle città europee i valori tipici di d sono compresi tra $0.5 z_H$ e $0.9 z_H$. Molto più complesso è analizzare le alterazioni al di sotto degli edifici. Se si considera un fabbricato isolato, sottovento rispetto ad esso si viene a creare inevitabilmente un vortice che costituisce una zona di stagnazione per il flusso d'aria. Se il canyon urbano è molto largo, il vortice sottovento che si forma ha le stesse caratteristiche rispetto quello di un edificio isolato, il regime di fluido dinamico che si instaura mantiene questa configurazione se $H/W < 0.4$, con H l'altezza degli edifici e W la distanza tra di essi, misurati l'ungo la direzione del vento. Quando il valore del

rapporto arriva fino a 0.7 significa che gli edifici iniziano ad interferire gli uni con gli altri, mentre per valori superiori a 0.7 si viene a creare un vero e proprio canyon urbano.

2.2.5 Caratteristiche termiche dei materiali

Le strutture presenti in città sono caratterizzate da una maggiore conducibilità termica k e da una maggiore capacità termica C . La formula che combina queste due proprietà è \sqrt{kC} indicata con la “ μ ” e chiamata inerzia termica. Essa rappresenta una misura della risposta termica di una superficie ad un dato flusso di calore. L’elevato valore di μ che caratterizza le aree metropolitane determina un’alterazione nel bilancio energetico superficiale poiché, la quota immagazzinata ΔQ_s è considerevolmente maggiore rispetto alle zone rurali. Si stima che il flusso sia almeno il doppio nelle città dato che la misurazione non è effettuabile direttamente. Nelle ore notturne dovrebbe riscontrarsi il raffreddamento delle superfici, ma questo fenomeno è mitigato dalla riduzione dello SVF e la stagnazione dell’aria causata dai canyon.

2.2.6 Calore antropogenico

Il calore che deriva dalle attività umane e dai consumi energetici che esse comportano è un altro importante fattore che contribuisce alla differenza di temperatura tra le città e le zone rurali. Questo contributo indicato con “ Q_F ” viene definito come calore antropogenico ed è risultante da tre componenti: il calore generato dai mezzi di trasporto “ Q_{FV} ”, il calore da fonti stazionarie come abitazioni ed industrie “ Q_{FH} ” ed il calore generato dal metabolismo umano e animale “ Q_{FM} ”. La correlazione tra intensità

massima dell'isola di calore e popolazione delle città riscontrante da Oke è imputabile ad effetti indiretti dell'aumento demografico urbano quali il maggior numero e densità di edifici, di autoveicoli o stabilimenti produttivi.

Il flusso di calore antropogenico assume valori più rilevanti durante il periodo invernale a causa del maggiore consumo energetico per il riscaldamento. È quindi possibile concludere che il calore antropogenico non sia la causa principale del fenomeno, anche se può avere una sua importanza nei centri urbani. Nei canyon e nelle zone delle isole urbane è maggiore l'effetto quando c'è un massiccio utilizzo degli impianti di climatizzazione, che comporta un aumento dei consumi energetici. I valori in lettura del flusso variano notevolmente tra differenti centri, per esempio nel '97 Taha afferma che in alcune città americane in estate il valore è dai 20-40 W/m² e d'inverno dai 70-210 W/m². Ichinose nel 1999 riporta valori estivi di 200 W/m² e invernali di 400 W/m² a Tokyo. Nel 2004 Sailor e Lu confermarono la teoria di Oke che la variabilità del flusso di calore antropogenico dipenda dalle differenti densità abitative e dai diversi consumi, misurando bassi flussi in città americane con minor densità abitativa. Inoltre calcolarono che la percentuale dovuta al traffico veicolare in sei città statunitensi sia tra il 47% e il 62% durante il periodo estivo e che diminuisca durante l'inverno a causa dei consumi per il riscaldamento. L'andamento giornaliero che rilevarono presentò due picchi con un'evoluzione simile.

CAPITOLO 3

3.1 Tecniche di mitigazione

L'isola di calore ormai è oggetto di studio da decenni e dal momento che l'origine dello sviluppo termico urbano è la modifica del bilancio energetico superficiale, le azioni di mitigazioni devono concentrarsi per portare i valori nelle città a quelli delle zone rurali. Siccome ogni isola di calore ha caratteristiche proprie ed è caratterizzata da più cause, con percentuali di contribuzione differenti all'interno dell'isola andrà applicato un differente piano di mitigazione in base ad ogni UHI; comunque è possibile individuare che tra le diverse tecniche quelle più efficaci generalmente sono l'aumento di vegetazione e l'utilizzo di materiali con gradi di rifrazione maggiori.

Questi cambiamenti dell'ambiente urbano sono direttamente collegati a benefici sia di tipo diretto che indiretto; parlando di effetti diretti consideriamo quelli sugli edifici, perché una minore temperatura delle superfici comporta un minore fabbisogno energetico per la climatizzazione degli ambienti, viene da se che il risparmio sarà anche economicamente riscontrabile. La riduzione dei consumi energetici ottenibile è un vantaggio per l'intera collettività poiché permette sia di limitare la potenza elettrica di picco sia di migliorare la qualità dell'aria. Inoltre, con la diminuzione delle temperature cittadine, c'è una minore produzione di smog fotochimico emesso da molti processi naturali o antropici. Infine la presenza di una maggiore vegetazione porta anche ad una diminuzione dell'anidride carbonica. Nei periodi estivi l'utilizzo massiccio degli impianti di condizionamento determina maggiori emissioni di gas serra e di inquinanti,

riducendo la qualità dell'aria. L'interesse nei confronti dell'isola di calore ha contribuito nell'individuare e promuovere lo sviluppo di strategie per la riduzione dell'effetto. Più specificatamente gli interventi dovrebbero ridurre il flusso di calore immagazzinato nelle strutture tramite la modifica della geometria urbana e/o l'utilizzo di materiali con minore emittenza termica. Inoltre sempre con lo scopo di ridurre il flusso di calore si dovrebbe procedere aumentando l'albedo delle superfici con la modifica delle geometrie degli stessi e riducendo così la radiazione netta, limitando i consumi di energia elettrica, diminuendo il traffico veicolare e migliorando l'efficienza energetica. Nel 2005 Akbari stima che la temperatura estiva massima di Los Angeles si abbasserebbe di 2-3°K se venissero piantati tre alberi per ogni casa e se i due terzi della superficie urbana incrementasse la propria albedo. Questi cambiamenti dell'ambiente urbano possono essere relativamente economici da ottenere e procurano due tipologie di benefici che sono sia diretti che indiretti. Quelli diretti riguardano gli edifici sui quali vengono effettuati gli interventi, la minore temperatura delle superfici delle abitazioni consente un significativo risparmio economico. Ma se tali azioni di mitigazione vengono effettuate su molte strutture, le numerose riduzioni di temperatura determineranno benefici per tutta la città. Tale opportunità rappresenta un beneficio indiretto perché contribuisce al risparmio energetico di ogni singola abitazione. La minor domanda di energia provoca infatti una minor emissione di inquinanti e di gas serra, dal momento che gran parte dell'energia elettrica è prodotta da combustibili fossili migliorando la qualità della vita all'interno dei centri urbani.

3.2 *COOL ROOF*

I cool roof sono coperture che hanno una elevata capacità di riflettere l'irradiazione solare incidente e contemporaneamente emettere energia termica nell'infrarosso. Questo comporta una bassa temperatura superficiale anche sotto irraggiamento solare diretto. I vantaggi si individuano in miglioramenti negli ambienti interni dell'edificio, nel risparmio energetico per la climatizzazione estiva, nel miglioramento dell'efficienza energetica dell'intero involucro dell'edificio, nella riduzione dell'effetto isola di calore, nella maggiore stabilità dimensionale delle stratigrafie di copertura e delle strutture portanti e nella maggiore durata nel tempo ed aspettativa di vita dei manti impermeabili di copertura.

3.3 *GREEN ROOF*

Una copertura a verde o un "tetto giardino" porta numerosi benefici alla costruzione:

- risparmio energetico grazie ad un migliore isolamento,
- abbassamento della temperatura ambiente e riduzione degli effetti delle isole di calore urbane,
- assorbimento di CO₂ e di polveri sottili e miglioramento della qualità dell'aria,
- rallentamento del deflusso delle acque meteoriche
- un ambiente più pulito.

I vantaggi di questa tecnologia costruttiva sono:

- Miglioramento dell'isolamento termico sia durante il periodo invernale, sia durante il periodo estivo con conseguente miglioramento del comfort degli ambienti interni e un considerevole risparmio di consumi e di costi energetici per la loro climatizzazione.
- Miglioramento dell'isolamento acustico e riduzione dell'inquinamento sonoro, grazie alla massa della copertura e alla duplice azione di assorbimento e riduzione della propagazione delle onde sonore esercitata dal verde pensile, poiché composto da superfici non planari e da materiali diversi, dotati di spiccato potere fonoassorbente.
- Abbattimento delle polveri (tra cui le PM10) e dello smog, grazie all'effetto di assorbimento e di fissaggio svolto dalla vegetazione.
- Riduzione delle emissioni di CO₂ (riduzione effetto serra) dovuto al minor utilizzo di impianti di condizionamento estivo e riscaldamento invernale ed inoltre la vegetazione, attraverso il processo di fotosintesi, assorbe la CO₂ trasformandola e rilasciandola sotto forma di ossigeno.
- Assorbimento di gran parte delle onde elettromagnetiche. Secondo ricerche effettuate dall'università di Kassel (Germania), una copertura a verde con 15 cm di substrato è in grado di assorbire circa il 94,4% delle emissioni nel campo di frequenza della rete telefonica mobile cellulare da 1,8 a 1,9 GHz. Nel campo delle onde elettromagnetiche per le frequenze UMTS comprese tra 1,92 e 2,17 GHz (cellulari di nuova generazione) la riduzione è risultata ancora maggiore. Per il

campo delle onde amatoriali di 4 GHz la riduzione ha raggiunto la percentuale del 99,9999%.

- Diminuzione dell'effetto "isola di calore" poiché le coperture a verde assorbono e trattengono l'acqua piovana e di irrigazione, restituendola all'ambiente tramite evapotraspirazione (effetto congiunto della traspirazione, attraverso le piante e dell'evaporazione, direttamente dal terreno) rinfrescando l'aria circostante.
- Rallentamento del deflusso delle acque piovane nei canali di scolo e nella rete fognaria, grazie all'azione di regimazione idrica svolta dal terreno e dalla vegetazione, tramite assorbimento e lento rilascio delle acque.
- Ulteriore incremento dell'aspettativa di vita delle impermeabilizzazioni, che risultano protette da raggi UV, intemperie, danneggiamenti meccanici ed escursioni termiche.

Su una copertura a verde le temperature massime estive superficiali si aggirano intorno ai 25°C, mentre su una copertura non protetta possono essere decisamente superiori, soprattutto se di colore scuro.

- Aumento della resa dei pannelli fotovoltaici. Su una copertura a verde, dove le temperature superficiali sono ridotte, la resa dei pannelli fotovoltaici si avvicina al massimo rendimento specifico, quindi alla massima produzione di energia. Secondo la letteratura di settore, per quanto riguarda la temperatura ottimale, si stima che a 25°C il classico pannello fotovoltaico abbia le condizioni migliori per produrre energia. A tal proposito un utile indicatore è il coefficiente di temperatura, che

indica di quanto diminuisce il rendimento dei pannelli all'aumentare della temperatura dell'ambiente esterno.

- Creazione di nuovi spazi verdi vivibili e fruibili, anche in ambienti urbani densamente edificati. Creazione di nuovi habitat per flora e fauna che contribuiscono alla tutela della biodiversità.
- Miglioramento dell'estetica, sia urbana, contribuendo a riqualificare aree degradate, sia dell'edificio stesso, che vede aumentare anche il suo valore commerciale, incrementando inoltre anche il benessere e la qualità della vita degli abitanti.

3.5 *COOL PAVEMENTS*

I “cool pavements” sono pavimenti che rimangono più freschi al sole rispetto ai tradizionali. Questo miglioramento può derivare dall'utilizzo di aggregato riflettente, un legante riflettente o trasparente oppure un rivestimento superficiale riflettente.

I benefici riscontrabili naturalmente sono molteplici, come il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni. Per esempio i marciapiedi freddi abbassano la temperatura dell'aria esterna e di notte riducono la necessità di illuminazione stradale elettrica dato dall'aumento della riflettanza solare, naturalmente comporta anche una diminuzione delle emissioni di gas delle centrali elettriche. Ne beneficiano anche il comfort e la salute dei cittadini dato che una temperatura minore nelle città comporta anche un calo delle malattie strettamente legate al calore e rallentano le reazioni chimiche che creano lo smog. Anche i conducenti ne risentono positivamente, dato che un marciapiede di colore chiaro riflette meglio le luci di strada e i fari dei veicoli aumentando la visibilità

anche di molto. Infine si è constatato anche un miglioramento della qualità dell'acqua derivante da un raffreddamento dell'acqua piovana e una riduzione di eventuali danni al bacino idrico locale.

3.5.1 Nuovi risultati di ricerca sulle conseguenze della distribuzione di marciapiedi freschi

Una recente ricerca in California ha portato a importanti risultati sui benefici derivanti dall'implementazione di marciapiedi freschi nelle città di tutto lo stato. Di seguito sono riportati i punti chiave da questa ricerca.

- I materiali per pavimentazioni fredde di solito richiedono più energia e carbonio per la loro produzione rispetto ai materiali per pavimentazione convenzionali. Un'eccezione è il calcestruzzo con livelli sostanzialmente ridotti di cemento portland ordinario ad alta intensità energetica e di carbonio.
- L'aumento dell'albedo di 0,20 di tutte le superfici pavimentate è progettato per ridurre le temperature estive dell'aria esterna nelle città della California da circa 0,1 a 0,5 ° C (da circa 0,2 a 0,9 ° F), a seconda della geografia e del clima della città.
- Nelle città della California con una importante presenza di impianti di aria condizionata, il risparmio di energia del condizionamento d'aria dovuto alla riduzione della temperatura dell'aria è di poco inferiore a 1 kWh (con un risparmio quindi di circa 0,60 USD) all'anno per m² di pavimentazione modificata. Il CO₂ evitato è stimato a meno di un centesimo all'anno per m².

- L'energia e il carbonio risparmiati negli edifici sono in genere molto inferiori all'energia extra e al carbonio necessari per realizzare i marciapiedi più freddi.
- Per fare un confronto, la costruzione di risparmi energetici da marciapiedi freddi è circa un ordine di grandezza inferiore a quelli dei tetti freddi.
- I marciapiedi riflettenti offrono una compensazione del carbonio una tantum (vantaggio) che supera la penalità sul carbonio del ciclo di vita di 50 anni.
- Una sfida importante è quella di creare materiali per pavimentazioni interessanti che riducano l'energia, il carbonio e i costi del ciclo di vita.

Come per tutti i materiali esposti all'atmosfera e all'utilizzo, la riflettanza solare della pavimentazione può cambiare nel tempo. Ad esempio, con l'invecchiamento della pavimentazione in calcestruzzo di cemento essa tende a scurirsi acquisendo le macchie di pneumatici e grasso (nuova SR 30-50%; SR 20-35% invecchiato), mentre il calcestruzzo di asfalto alleggerisce (nuova SR 5%; SR 10-20% invecchiato) invecchiando perché il legante per asfalto si ossida e viene esposto più aggregato per usura.

CAPITOLO 4

4.1 *Strumenti di acquisizione*

L'acquisizione del dato avviene raccogliendo la radiazione termica punto per punto dalla superficie da rilevare per dirigerla poi su un rilevatore che la converte in segnale elettrico. Si ha quindi lo scambio di energia fra due superfici, quella da rilevare e quella

del sensore: tale scambio provoca un'alterazione nel sensore che viene sfruttata per rendere in forma di dato puntuale (radiometro) o di immagine (scanner) l'intensità della radiazione raccolta. Si definiscono scanner tutti quei sistemi a scansione che, attraverso una sequenza ordinata di misure nello spazio, riescono a riprodurre una scena bidimensionale, restituendola sottoforma di immagine, oramai quasi sempre digitale, secondo una matrice di celle elementari che corrisponderanno poi ai pixel dell'immagine. I metodi di rilevamento a scansione si suddividono principalmente in *whiskbroom* e *push-broom*. Il sistema a scansione *whisk-broom* è un sistema ottico - meccanico basato sulla combinazione del moto rotatorio di uno specchio rotante, che convoglia le radiazioni su un detector, e del moto traslatorio della piattaforma, mentre il secondo, *push-broom*, è un dispositivo a scansione elettronica o statica costituito, generalmente, da una serie di sensori CCD allineati ed uguali fra di loro, i quali vengono interrogati singolarmente e l'insieme ordinato delle risposte costituisce la linea di acquisizione formata da un numero di pixel pari al numero dei rilevatori.

4.2 PIATTAFORME SATELLITARE

4.2.1 LANDSAT

Il programma statunitense *Landsat* consiste in una serie di missioni satellitari per l'Osservazione della Terra, portato avanti congiuntamente dalla NASA e dall'USGS. I dati collezionati sono stati usati per oltre 30 anni al fine di studiare l'ambiente, le risorse, e i cambiamenti naturali e artificiali avvenuti sulla superficie terrestre. Il primo satellite *Landsat* fu lanciato nel 1972 mentre il più recente, il *Landsat 7*, nel 1999.

Ancora oggi il *Landsat 5* e il *Landsat 7* continuano ad acquisire ogni giorno centinaia di immagini sulla superficie terrestre. L'orbita, con un'inclinazione di $98^{\circ}22'$ sul piano equatoriale, viene completata in un periodo di 98,89 minuti. Il periodo di ripetizione della ripresa (periodo necessario per completare un'intera scansione del globo in 233 orbite e ritornare sulla medesima posizione) è di 16 giorni. A bordo del *Landsat 5* sono montati due sensori: il Multi Spectral Scanner (MSS) e il Thematic Mapper (TM).

4.2.1.1 *Multi Spectral Scanner*

È un tipo di sensore meccanico-ottico, con una risoluzione geometrica da 68m a 83m, un range spettrale che va dai 0.5- 1.1 μm su un numero di bande che può essere di 4 o 5 e un tempo di ripetizione che va dai 16 ai 18 giorni. L'ampiezza dell'area sottoposta a scansione è di forma quadrata con lati di 185 Km x 185 Km.

4.2.1.2 *Thematic Mapper*

Anche questo è un sensore di tipo meccanico-ottico, con una risoluzione geometrica da 60m ai 120m, ma con l'utilizzo della banda pancromatica, cioè che sintetizza l'immagine per comodità nelle tre bande ottiche, rosse, verde e blu, la risoluzione può essere di 15m, ma presente solo nei modelli "ETM+". Un range spettrale che va dai 0.45- 12.5 μm su un numero di bande pari a 7 con un tempo di ripetizione che è di 16 giorni. L'ampiezza dell'area sottoposta a scansione dal "TM" è di forma quadrata con lati di 185 Km x 185 Km.

4.2.2 *ASTER*

Acronimo di *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflected Radiometer*, è la strumentazione ottica montata a bordo di Terra, un satellite lanciato nel dicembre del 1999 come parte di un più ampio studio della NASA, l'Earth Observing System (EOS). La strumentazione ASTER cattura immagini ad alta risoluzione spaziale in 14 bande dello spettro elettromagnetico, dal visibile alle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico, ed offre la possibilità di una visione stereografica per la creazione di un modello digitale di elevazione (DEM). Inoltre grazie all'alta risoluzione, i dati ASTER sono spesso utilizzati per la calibrazione e la validazione di informazioni ottenute con altri sensori. Praticamente consiste nell'utilizzo di tre sensori che operano ognuno in una differente area dello spettro elettromagnetico, il primo VNIR, opera sulla lunghezza d'onda del visibile e del vicino infrarosso con risoluzione di 15 metri, il secondo SWIR opera in sei bande spettrali del vicino infrarosso con risoluzioni di 30 metri e infine il TIR, quest'ultimo opera in cinque bande dell'infrarosso termico e risoluzione di 90 metri. L'ASTER ha un ciclo di ripetizione di 16 giorni con un'impronta di 60 Km x 60 Km.

4.3 *Termocamere*

Telecamere in grado di percepire le radiazioni infrarosse e trasformarle in immagini o riprese termografiche. Si possono distinguere in base al campo spettrale da loro recepito, come VIR che indica l'infrarosso vicino al visibile, SW infrarosso ad onda corta per le temperature elevate, MW infrarosso medio per individuare oggetti o gas,

LW infrarosso lontano comunemente utilizzato per le misurazioni delle temperature ambientali e per ultimo XLW infrarosso vicino alle microonde, di norma utilizzato per le osservazioni astronomiche con temperature inferiori ai 250 K. Come per le comuni macchine fotografiche anche queste risentono della risoluzione geometrica che influenzerà l'esattezza dei dati raccolti di norma individuate in quattro fasce di Pixel, la prima è 4x4 pixel adatta per la sostituzione dei comuni termometri ad irraggiamento, la seconda è quella dai 120x140 ai 160x160 pixel adatta per misure indicative nella manutenzione, da 240x240 a 324x324 pixel utilizzate per la maggior parte delle rilevazioni ed infine da 500x500 pixel e superiori termocamere ad alta risoluzione. Le termocamere che operano con frequenze di acquisizioni fino ai 33 Hz sono in grado di analizzare fenomeni statici, ma non per misurazioni di elementi in movimento, termocamere dai 33 Hz ai 60Hz per eventi brevi e rapidi e da 60Hz fino ai 2kHz utilizzate per le analisi di strutture.

Naturalmente ci sono vari svantaggi e/o limiti nell' utilizzo di tale strumentazione il primo dei quali è sicuramente individuato nel costo dato che i modelli con buone risoluzioni sono molto costosi. In presenza di precipitazioni come neve o pioggia, oppure con la presenza di vento forte e superfici umide la precisione diminuisce, già di norma +/- 2% inferiore della temperatura se misurata con un termometro a contatto, anche perché possiamo analizzare solo le temperature superficiali e non dell'intero elemento.

4.4 Software di modellazione

4.4.1 ENVI_MET

ENVI_MET è un programma per la modellazione microclimatica delle città, con il quale è possibile osservare come ogni elemento che compone l'ambiente urbano o paesaggistico interagiscono tra di loro. Il modello di calcolo si sviluppa su diverse aree scientifiche che comprendono tra di loro la fluidodinamica, termodinamica, fisiologia delle piante e geologia. Andando a estrapolare ed osservare i parametri maggiormente significativi dei modelli ENVI_MET troveremo quello dell'inquinamento dell'aria: un fattore molto importante nella valutazione ambientale.

4.4.2 Parametri di base

Questo software ci permette di considerare la dispersione e deposizione fino ad un numero di sei differenti tipi di elementi inquinanti costituiti da particelle, gas attivi o passivi, integrando anche la fotochimica derivante dalle piante presenti all'interno dell'area di studio. Un altro aspetto chiave, preso in considerazione dal modello, è il comfort termico che comprende l'impatto del sole, vento, temperatura dell'aria e umidità, consentendo una valutazione globale delle condizioni di comfort termico stazionario e transitorio, dato che a questo elemento in particolare possiamo collegare vari settori come medicina, psicologia, fisica e anche marketing.

4.4.3 Modelli di riferimento

Per capire come si sentono gli individui in determinate condizioni termiche, il programma, si serve di modelli biometeorologici che combinano le condizioni esterne con il sistema di termoregolazione umana. Uno di questi modelli è la temperatura fisiologica equivalente oppure PET calcolato utilizzando ENVI_MET Biomet. Il PET

si riferisce a una condizione esterna e ad una situazione interna immaginaria in cui risulterà una temperatura ambiente di PET. Un'eccessiva o al contrario una scarsa esposizione alla luce del sole potrebbe portare a condizioni di vita scomode per esseri umani e piante in spazi sia esteri che interni. Di conseguenza il modello fornisce sofisticati strumenti di analisi tridimensionale per calcolare e tracciare la distribuzione dell'onda corta diretta, diffusa e la riflettanza della radiazione solare all'interno dell'ambiente esterno. Inoltre, è possibile simulare il flusso d'aria, il calore e lo scambio di vapore nelle aree urbane. La situazione del vento differisce notevolmente tra aree urbane e spazi aperti.

4.4.4 Simulazioni 3D

Attraverso la struttura tridimensionale e la disposizione dei volumi all'interno delle città è possibile sperimentare aree di velocità del vento elevate e raffiche di vento turbolento. Zone con velocità del vento molto bassa e masse d'aria stagnanti possono aumentare l'effetto dello stress da calore, l'accumulo di inquinanti e promuovere lo sviluppo di varminti (parassiti) nella vegetazione.

Poiché gli studi in galleria del vento non sono solo molto complessi, ma possono anche rappresentare solo alcuni aspetti parziali delle possibili condizioni, il software ENVI_MET è l'unico modello clima-numerico disponibile al mondo per analizzare le interazioni tra sviluppo urbano, architettura e architettura del paesaggio, nonché il microclima e qualità dell'aria fino a una scala di un metro. La configurazione degli edifici, la loro posizione e organizzazione sono elementi che interagiscono per formare un microclima unico in ogni sito. Per comprendere il contributo dei singoli edifici al sistema di microclima urbano e per valutare l'energia scambiata tra l'interno dell'edificio e l'esterno, tutti gli elementi devono essere simulati in modo integrato al quadro di simulazione. L'approccio d'insieme e ad alta risoluzione di ENVI_MET

consente la simulazione della micro-scala urbana come sistema complesso e i flussi di energia degli elementi di facciata individuale di un unico edificio. Uno degli strumenti chiave per mitigare i cambiamenti climatici negativi è l'uso di infrastrutture verdi con un aumento degli alberi urbani. Nel campo del vento urbano, possono verificarsi effetti di accelerazione dovuti ad effetti a getto e zone di maggiore turbolenza, che possono portare a più carichi del vento rispetto alle condizioni medie.

4.4.5 Verde urbano

L'area delle radici spesso limitata riduce le possibilità per gli alberi nelle città di procurarsi acqua ed avere una presa sul terreno sufficiente alla stabilità. Un punto di forza particolare di ENVI_MET è l'alta risoluzione per la simulazione della vegetazione come organismo vivente. Questo rende possibile esaminare la vitalità di alberi o piante e analizzare possibili interazioni con edifici e il microclima urbano.

4.4.6 Progettazione architettonica della città

Il software ENVI_MET non è limitato ad un utilizzo esclusivo per la simulazione microclimatica all'interno della città, ma grazie all'elevato numero di parametri che si possono inserire per la costruzione del modello e l'utilizzo di plug-in scaricabili dal sito ufficiale che vanno ad integrare ulteriormente il programma, è possibile usufruirne da parte di figure come architetti e designer per la progettazione degli spazi e degli edifici anche a livello estetico. In definitiva il software ci permetterà, attraverso rappresentazioni 3D molto dettagliate dell'area di studio, di effettuare tutte le valutazioni necessarie alla riduzione di isole di calore esistenti o che potrebbero formarsi all'interno delle città senza un adeguata progettazione della stessa.

4.4.7 TownScope

Il secondo software che analizziamo è chiamato TownScope. Anch'esso è un programma per la simulazione del microclima all'interno delle città. L'approccio climatico è usato come quadro teorico per definire i parametri da applicare in un caso di studio.

4.4.8 Parametri iniziali

I quattro parametri sono: area studiata, temperatura, umidità relativa, intensità del vento e radiazione solare. Con l'ausilio di database derivanti da stazioni meteorologiche, sono state utilizzate misurazioni fisiche in loco e strumenti di modellizzazione di computer per l'analisi termica. Condizioni necessarie a simulare le prestazioni energetiche negli spazi esterni nel tessuto urbano.

4.4.9 Strumenti utilizzati

Arc View, gli strumenti GIS e TownScope come modello 3D, sono stati applicati per descrivere l'isola di calore urbana e analisi delle radiazioni in 3D. La radiazione solare negli spazi aperti è possibile calcolarla con il software TownScope. Così è possibile vedere l'effetto in una città molto ampia, attraverso il modello delle radiazioni dirette quotidiane, che è quasi impercettibile in estate, quando il sole è piuttosto elevato e le radiazioni a mezzogiorno dominano la distribuzione delle radiazioni quotidiane. L'effetto degli edifici sulle radiazioni dirette quotidiane durante l'inverno è più importante sebbene abbastanza limitato sul lato esposto a sud degli edifici.

4.4.10 Anali anemometrica

Un altro fattore importate per la realizzazione di un modello da parte del software è quello del vento all'interno della città, molto influenzato dalla geometria urbana, che come nel software analizzato precedentemente è possibile inserire nella simulazione.

4.4.11 Restituzione dell'analisi

Continuando nella realizzazione del modello è possibile inserire anche parametri riguardanti la geometria urbana individuando le strutture abitative con gli usi e le specifiche degli stessi; tutta la simulazione alla fine verrà restituita dal software attraverso modelli 2D e 3D dell'area presa in esame, andando in base alle necessità del progettista, ad individuare lo specifico parametro che si intende porre sotto esame.

4.4.12 Comparazione dei software

Entrambi i software sono molto validi come ausilio nella progettazione e/o valutazione di un'area di studio per quanto riguarda l'analisi del microclima. Nella scelta sul possibile utilizzo dovranno valutarsi anche ulteriori elementi quali ad esempio:

- Il costo del software.

ENVI_MET infatti, ha una versione gratuita, scaricabile dal sito ufficiale, sufficientemente efficace per eseguire un'analisi. Ovviamente, per una versione professionale e con parametri aggiuntivi molto più specifici, è previsto un costo. Invece per il software "TownScope" non è prevista nessuna versione gratuita.

- Il numero di parametri da poter inserire.

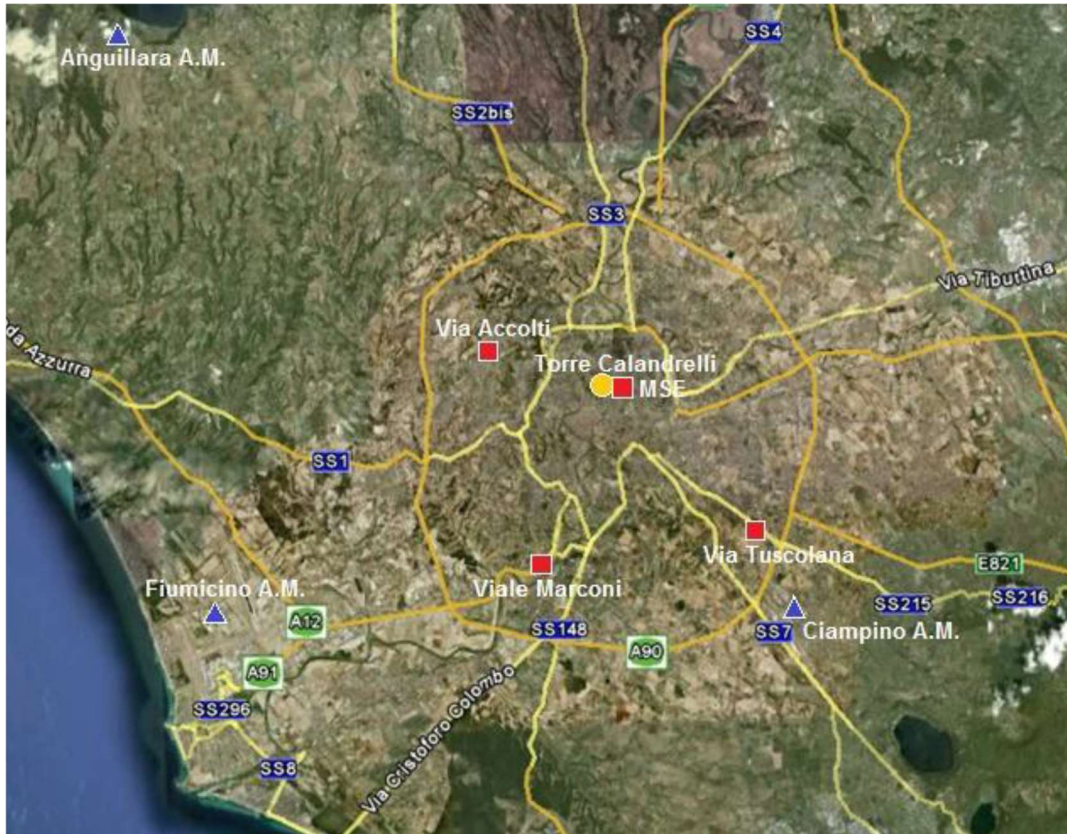
In ENVI_MET, riscontriamo un numero elevato di parametri inseribili e necessari anche alla progettazione da un punto di vista architettonico e di design della città in quanto molto intuitivo e facilmente utilizzabile.

In TownScope, la parametrizzazione del software è limitata al mero svolgimento della sua funzione di simulazione del microclima.

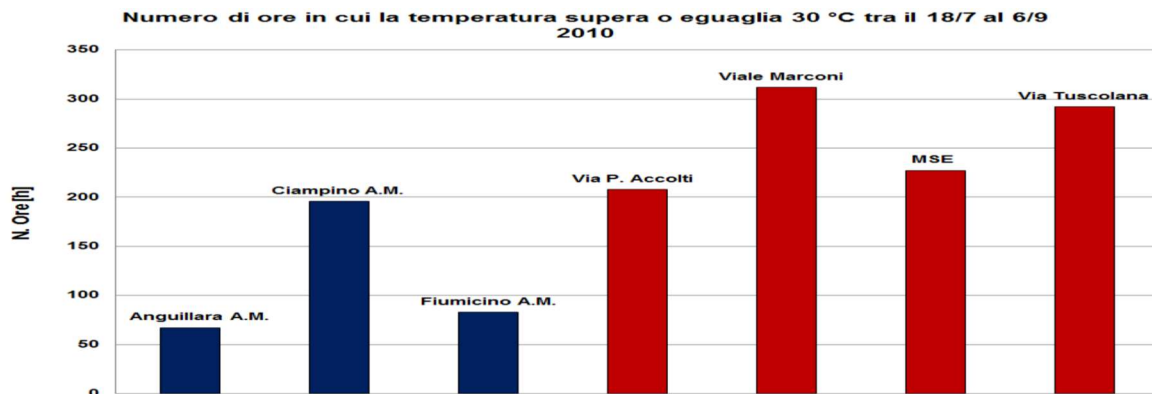
CAPITOLO 5

5.1 Inteventi in Italia e nel mondo di mitigazione di questi fenomeni

Nel 2011, l'università degli studi di Roma Tre, in collaborazione con l'ENEA e il ministero dello sviluppo economico ha svolto una ricerca sull'impatto di cool material sulla mitigazione dell'isola di calore urbana e sui livelli di comfort termico negli edifici. La prima parte di tale studio si è concentrata sul misurare l'effettiva entità dell'isola di calore urbana nella città di Roma. Tale rilevazione è stata effettuata nel periodo dal 18 Luglio al 6 settembre 2010 attraverso il posizionamento di stazioni e centraline dislocate sia in aree urbane che suburbane. I sensori di temperatura di tali stazioni sono stati posizionati ad un'altezza di 1.5 metri dal piano stradale ed esposti a Nord. Ulteriori dati sono stati acquisiti dalle stazioni aeroportuali di Fiumicino, Ciampino, Anguillara e dall'osservatorio meteorologico Torre Calandrelli, Collegio Romano. Quest'ultima stazione meteo si individua ad un'altezza di 66,4 metri s.l.m. e a 45 metri dal piano stradale.

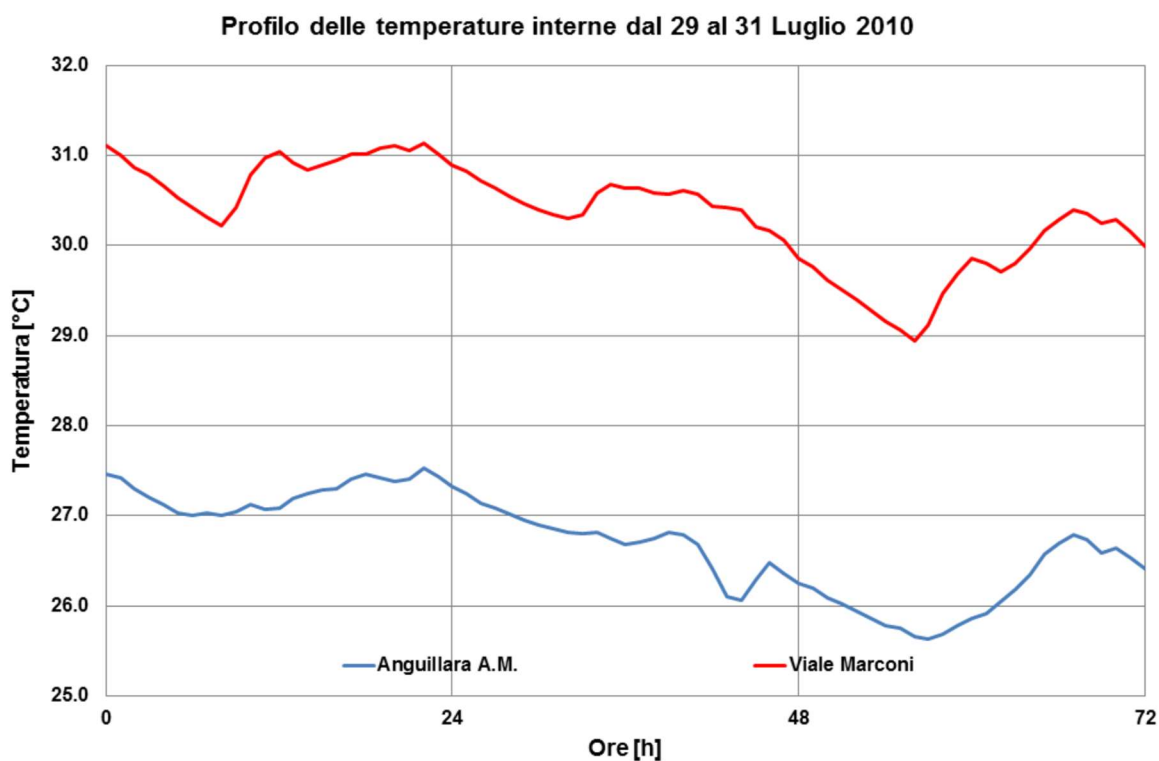


Attraverso l'analisi delle temperature orarie delle varie fonti si è potuto osservare in quali fasce orarie la temperatura registrata fosse superiore o uguale a 30°C.



Da questa osservazione si è potuto individuare Ciampino come il campione con un numero di ore più elevato, facilmente prevedibile data la sua vicinanza ad una zona densamente popolata. Nelle aree urbane, la zona con più ore in cui la temperatura ha superato quella minima impostata, è quella di Viale Marconi con un valore superiore alle 300h nonostante la sua vicinanza al fiume Tevere che in teoria dovrebbe

contrastare il fenomeno, ma il cui effetto è mitigato dall'elevata altezza degli edifici presenti nell'area che possono superare anche gli 8 piani. Al contrario in Via Pietro Accolti si è misurato un numero di ore che supera di poco le 200h nonostante l'elevata urbanizzazione, probabilmente mitigato dalla presenza di un'area molto estesa di verde nelle sue immediate vicinanze. Utilizzando il Transient System Simulation Program, si è calcolato il profilo delle temperature interne di un appartamento-tipo in free-floating, nei giorni dal 29 al 31 luglio 2010, ipotizzandolo all'ultimo piano di un edificio in modo da trattare anche il solaio di copertura come superficie radiante. L'area dell'appartamento è di 76,4 m², presenta delle aperture su tre lati, nord, sud e ovest, la trasmittanza è di 5.7 W/m²K, delle pareti verticali finestrate la trasmittanza è di 1.1 W/m²K, 1.2 W/m²K per il pavimento, 1.1 W/m²K per il solaio di copertura e 1.2 W/m²K per la parete verticale non finestrata adiacente ad un altro appartamento sul lato est. Il ricambio d'aria è di 1.5 volumi/ora nella fascia oraria tra le 20:00 e le 10:00 e di 2.5 volumi/ora tra le 10:00 alle 20:00. I risultati di tale simulazione dimostrano come la temperatura interna in un appartamento a Viale Marconi sia quasi ininterrottamente superiore di 3.5°C rispetto a quella ottenuta per una abitazione simile collocata in prossimità dell'aeroporto di Vigna di Valle.



La fase successiva dello studio riguarda l'analisi preliminare delle caratteristiche superficiali di alcuni materiali per l'edilizia ad alta riflettanza della radiazione solare. Tramite l'utilizzo di termocamera NEC TH 9100 ML 320 x 240 si è valutata la temperatura raggiunta da alcune pitture con pigmenti bianchi, grigi, verdi, rossi e blu, utilizzate come tinta per asfalti e sottoposte ad irraggiamento solare. Le condizioni al contorno sono la temperatura esterna di 31°C in data 5 Agosto 2011 alle ore 12:00 solari ed emissività del campione pari a 0,9.

I valori misurati sono stati in seguito inseriti in una tabella:

	Bianco	Verde	Grigio	Rosso	Blu	Asfalto
T_{min} [°C]	46.6	54.7	54.9	58.6	58.9	-
T_{max} [°C]	48.8	57.8	58.1	62.3	62.0	-
T_{media} [°C]	47.7	56.3	56.5	60.5	60.5	63.5
ΔT [°C]	15.8	7.3	7.0	3.1	3.1	-

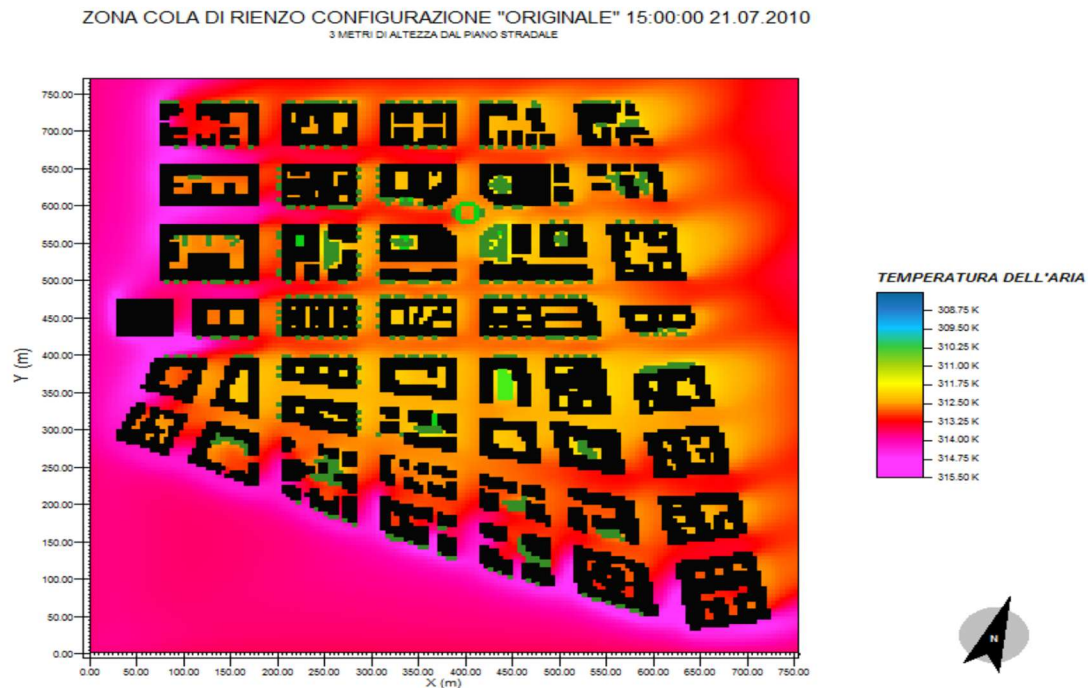
Una più dettagliata stima delle prestazioni di questi materiali, si otterrebbe con misurazioni di riflettanza spettrale ed integrata attraverso uno spettro fotometro, per valutare le effettive potenzialità e per poi compiere un'analisi comparata con misurazioni di temperatura rilevate attraverso termo-resistenze. Un aspetto ancora poco investigato è il possibile impoverimento delle suddette proprietà superficiali delle tinte quando sottoposte a variazioni climatiche e ad agenti atmosferici. La terza fase si individua nella valutazione, tramite dati numerici, dell'impatto dei materiali ad alta riflettanza solare sulla distribuzione orizzontale delle temperature a livello di quartiere. Attraverso il software ENVI_MET, si è valutata una zona densamente popolata al centro di Roma. Lavorando a livello di micro-scala urbana utilizzando equazioni di tipo termo-fluidodinamico, esso permette di simulare il comportamento di un modello climatico tridimensionale. Sulla griglia, che può variare da 0,5 a 10 metri nello spazio e fino a 10 sec gli intervalli nel tempo, si può ricreare una mappa 3D di una porzione di un agglomerato urbano includendo sia la distribuzione che la tipologia di vegetazione. Il modello di simulazione comprende:

- il calcolo della velocità e direzione del flusso intorno e tra gli edifici,
- i processi di scambio termico con muri e terreno,
- la turbolenza i processi termici legati alla vegetazione,
- la bioclimatologia e le dispersioni di inquinanti.

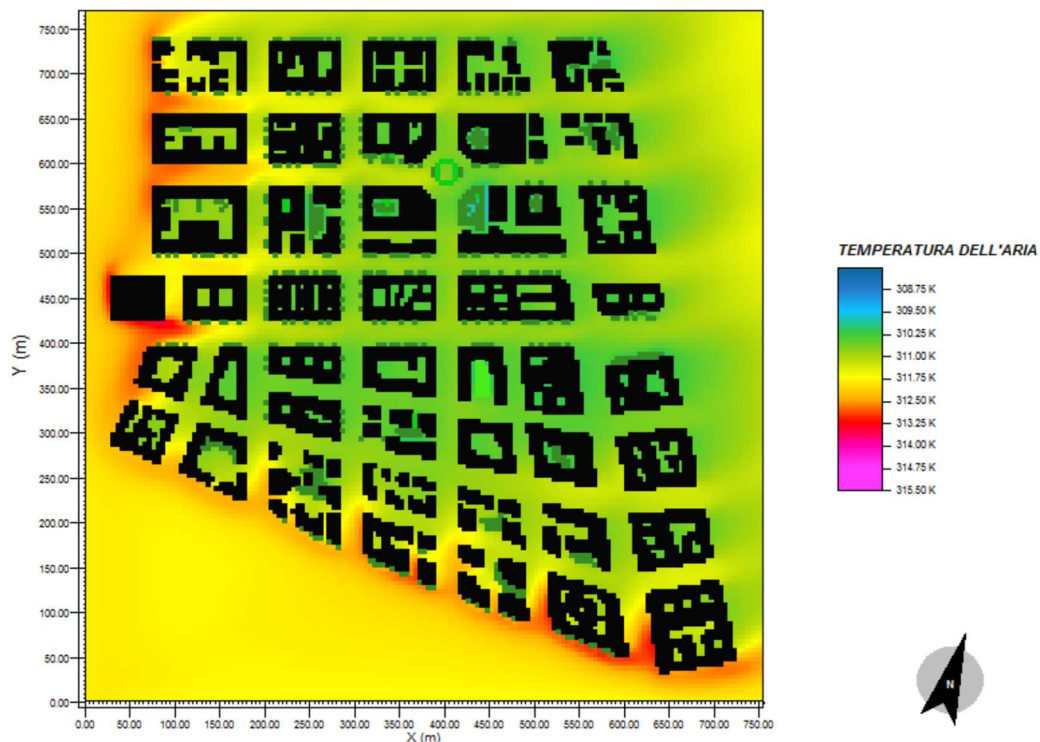
Lungo l'asse verticale, al di fuori della griglia, il modello passa da tridimensionale a monodimensionale e si estende fino ad una quota di 2500 metri. Lo studio trattato si è

focalizzato su una porzione del quartiere Rione Prati, di circa 500.000m² appartenente alla XVII circoscrizione, caratterizzato da un semplice schema urbano. La zona comprende piazzale dei Quiriti e Via Cola di Rienzo. Lo scopo delle simulazioni è la misura dell'influenza che i cool material hanno sulla temperatura esterna dell'abitato. A tal proposito sono state eseguite tre simulazioni che hanno coperto due giornate estive per limitare l'effetto del transitorio, il 20 e il 21 Luglio 2010, con tre diverse configurazioni di riflettanza per gli edifici, marciapiedi e strade.

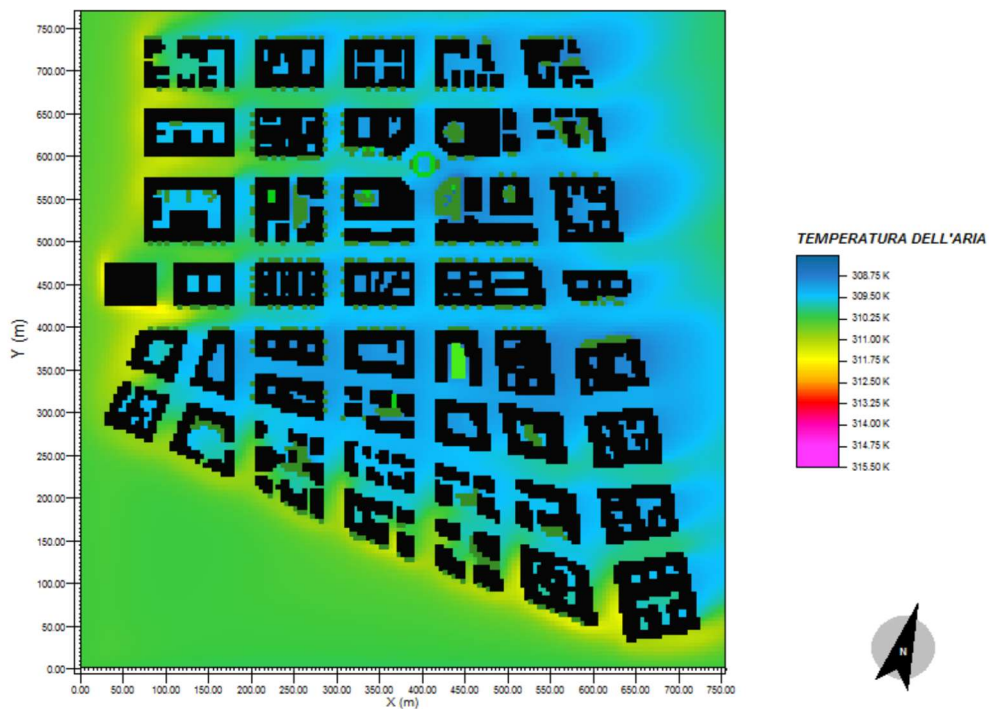
I modelli risultanti sono stati i seguenti:



ZONA COLA DI RIENZO CON COOL MATERIAL IMPATTO MEDIO 15:00:00 21.07.2010
3 METRI DI ALTEZZA DAL PIANO STRADALE



ZONA COLA DI RIENZO CON COOL MATERIAL IMPATTO ALTO 15:00:00 21.07.2010
3 METRI DI ALTEZZA DAL PIANO STRADALE



Il modello tridimensionale risultate è il seguente:



Osservando tali modelli si evidenzia come l'aria esterna diminuisca in media di circa 2°C passando dalla situazione più realistica in termini di riflettanza ad una in cui la zona è stata simulata con un'applicazione di cool material a basso impatto. D'altra parte, utilizzando cool material ad alto impatto, la temperatura decresce ulteriormente, con una differenza media di 3.5°C. All'interno della mappa sono stati anche posizionati, attraverso ENVI_MET, cinque recettori per monitorare la temperatura puntuale dell'aria esterna a diverse altezze da terra. Il posizionamento dei sensori è stato scelto in modo da valutare la temperatura in zone in cui è presente un'area verde (recettore "1") e zone in cui la vegetazione è assente, progressivamente più distanti dalla suddetta area verde (recettori "2", "3", "4", "5"). Al fine di verificare

l'attendibilità dei risultati prodotti dalle simulazioni si è raffrontato il profilo di temperatura generato da ENVI_MET nell'intera giornata (21 Luglio 2010) a 45 metri di altezza con i rispettivi valori reali forniti dall' Osservatorio Meteorologico Torre Calandrelli anch'essi a 45 metri di altezza sul piano stradale. Nonostante siano due differenti zone di Roma, ha senso fare un paragone tra questi valori poiché, come detto in precedenza, sono rappresentativi di una situazione al di sopra dell'altezza media degli edifici. I cinque recettori fanno registrare a 45 metri di altezza un andamento di temperatura quasi perfettamente sovrapposto e ciò è dovuto proprio alla quota alla quale i dati sono stati rilevati. Infatti a questa altezza da terra gli effetti di mitigazione della temperatura legati alle aree verdi diventano completamente trascurabili. Nella seguente tabella sono riassunte le temperature orarie del 21 Luglio 2010 per i cinque recettori nelle tre configurazioni di riflettanza a 4.5 metri di altezza. Sono state considerate solo le ore centrali della giornata dove si verificano le massime differenze di temperatura tra la configurazione originale e quella con cool material a basso impatto ($\Delta T1$) e alto impatto ($\Delta T2$) evidenziando in blu e in rosso i valori massimi raggiunti nella giornata.

R 1 Temperature orarie aria esterna a 4.5 metri dal piano stradale [°C]

Co nfi g.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Or igi nal e	29. 1	28. 8	28. 5	28. 2	28. 0	27. 8	28. 0	29. 1	30. 3	31. 5	33. 0	34. 5	36. 0	37. 3	38. 1	38. 5	38. 3	37. 7	36. 8	35. 2	33. 7	32. 9	32. 3	31. 8
Co ol ba ss	28. 4	28. 1	27. 8	27. 6	27. 4	27. 2	27. 4	28. 5	29. 5	30. 6	31. 9	33. 2	34. 5	35. 6	36. 3	36. 6	36. 5	36. 0	35. 2	33. 8	32. 5	31. 8	31. 2	30. 8
Co ol alt o	27. 8	27. 6	27. 3	27. 1	26. 9	26. 8	27. 0	28. 1	29. 0	30. 0	31. 1	32. 3	33. 5	34. 4	35. 0	35. 3	35. 2	34. 8	34. 0	32. 9	31. 6	30. 9	30. 4	30. 0
ΔT 1	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0
ΔT 2	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	2.9	3.0	3.1	3.1	3.0	2.8	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8

R 2 Temperature orarie aria esterna a 4.5 metri dal piano stradale [°C]

Co nfi g.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Or igi nal e	30. 2	29. 9	29. 6	29. 3	29. 0	28. 8	28. 9	30. 0	31. 1	32. 4	33. 9	35. 6	37. 1	38. 4	39. 2	39. 6	39. 4	38. 8	37. 7	36. 3	35. 0	34. 2	33. 6	33. 0
Co ol ba ss	29. 5	29. 2	28. 9	28. 6	28. 4	28. 2	28. 3	29. 3	30. 3	31. 4	32. 8	34. 2	35. 5	36. 7	37. 4	37. 7	37. 6	37. 0	36. 0	34. 9	33. 7	33. 0	32. 5	32. 0
Co ol alt o	28. 9	28. 6	28. 4	28. 1	27. 9	27. 8	27. 9	28. 8	29. 7	30. 7	31. 9	33. 2	34. 4	35. 4	36. 0	36. 3	36. 2	35. 7	34. 9	33. 8	32. 7	32. 1	31. 6	31. 2
ΔT 1	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.8	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
ΔT 2	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.4	2.8	3.0	3.2	3.3	3.2	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9

R 3 Temperature orarie aria esterna a 4.5 metri dal piano stradale [°C]

Co nfi g.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Or igi nal e	30. 5	30. 1	29. 8	29. 5	29. 3	29. 0	29. 1	30. 1	31. 1	32. 4	33. 9	35. 5	37. 0	38. 3	39. 1	39. 5	39. 4	38. 8	37. 7	36. 4	35. 2	34. 4	33. 8	33. 3
Co ol ba ss	29. 7	29. 4	29. 1	28. 9	28. 7	28. 5	28. 5	29. 4	30. 3	31. 4	32. 7	34. 1	35. 5	36. 6	37. 3	37. 7	37. 5	37. 0	36. 1	35. 0	33. 9	33. 2	32. 7	32. 2
Co ol alt o	29. 1	28. 8	28. 6	28. 4	28. 2	28. 0	28. 1	28. 9	29. 8	30. 7	31. 9	33. 1	34. 3	35. 2	35. 9	36. 2	36. 1	35. 7	34. 9	33. 9	32. 9	32. 3	31. 8	31. 4
ΔT 1	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.8	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
ΔT 2	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.4	2.8	3.0	3.2	3.3	3.2	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9

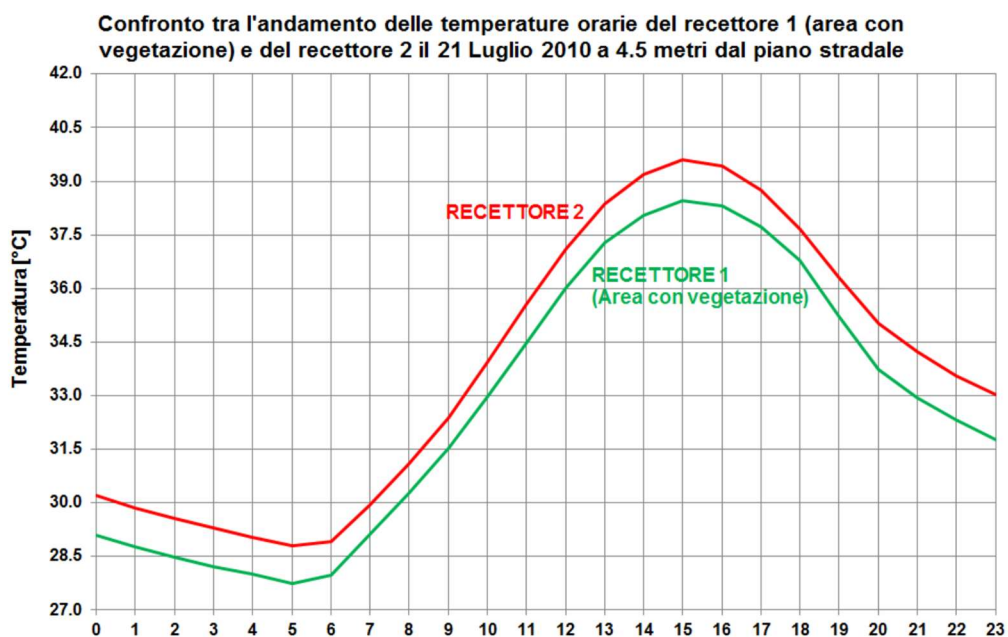
R 4 Temperature orarie aria esterna a 4.5 metri dal piano stradale [°C]

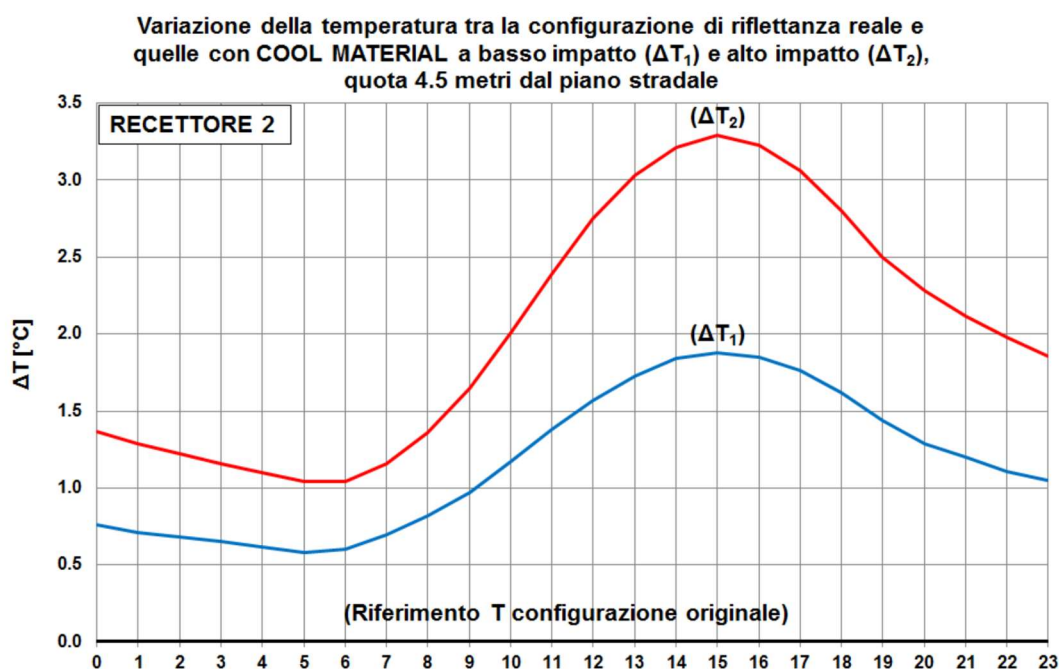
Co nfi g.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Or igi nal e	30. 4	30. 0	29. 7	29. 4	29. 2	28. 9	29. 1	30. 1	31. 3	32. 7	34. 2	35. 9	37. 4	38. 7	39. 5	39. 9	39. 8	39. 1	37. 9	36. 5	35. 2	34. 4	33. 7	33. 2
Co ol ba ss	29. 6	29. 3	29. 0	28. 8	28. 6	28. 3	28. 5	29. 4	30. 5	31. 7	33. 1	34. 5	35. 8	37. 0	37. 6	38. 0	37. 9	37. 3	36. 3	35. 1	33. 9	33. 2	32. 6	32. 1
Co ol alt o	29. 0	28. 7	28. 5	28. 3	28. 1	27. 9	28. 0	29. 0	29. 9	31. 0	32. 2	33. 5	34. 7	35. 7	36. 3	36. 6	36. 5	36. 0	35. 1	34. 0	32. 9	32. 3	31. 7	31. 3
ΔT 1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
ΔT 2	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.2	3.3	3.3	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9

R 5 Temperature orarie aria esterna a 4.5 metri dal piano stradale [°C]

Co nfi g.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Or igi nal e	30. 9	30. 6	30. 3	30. 0	29. 7	29. 5	29. 5	30. 5	31. 7	33. 2	34. 8	36. 5	38. 0	39. 4	40. 2	40. 6	40. 5	39. 7	38. 5	37. 1	35. 9	35. 0	34. 4	33. 8
Co ol ba ss	30. 1	29. 8	29. 6	29. 3	29. 1	28. 9	28. 9	29. 8	30. 9	32. 2	33. 6	35. 1	36. 4	37. 6	38. 3	38. 7	38. 6	37. 9	36. 9	35. 7	34. 5	33. 8	33. 2	32. 7
Co ol alt o	29. 5	29. 2	29. 0	28. 8	28. 5	28. 4	28. 4	29. 3	30. 3	31. 4	32. 7	34. 0	35. 2	36. 3	36. 9	37. 3	37. 1	36. 6	35. 7	34. 5	33. 5	32. 9	32. 3	31. 3
ΔT 1	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1
ΔT 2	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	2.8	3.1	3.3	3.4	3.3	3.1	2.9	2.6	2.3	2.2	2.0	1.9

Le temperature massime si presentano alle ore 15:00. I valori dei recettori “2”, “3” e “4” sono molto simili tra di loro in ogni ora della giornata. Nella configurazione originale la temperatura massima del recettore “1”, posizionato nell’area verde, è inferiore rispetto a quella del recettore 2 di 1.1 °C e di 2.1 °C rispetto al recettore “5”, il quale risulta essere l’indicatore con i valori più alti dei cinque. Quest’ultimo però è il più vicino al bordo della griglia e risente del problema precedentemente esposto relativo alle condizioni al contorno. La minore temperatura del recettore “1” pone ancora una volta in evidenza l’importanza della vegetazione come ulteriore tecnica di mitigazione della temperature per le zone densamente urbanizzate. La massima differenza di temperatura tra la configurazione originale di riflettanza e quella con cool material a basso impatto è 1.8 °C per il recettore “1” e 1.9 °C per gli altri recettori. Se la configurazione originale viene confrontata con la situazione che prevede l’applicazione di cool material ad alto impatto la differenza sale a 3.1 °C per il recettore “1”, 3.3 °C per i recettori “2”, “3”, “4” e 3.4 °C per il recettore “5”.





Con i risultati ottenuti dalle simulazioni si è infine proceduto al calcolo del livello di comfort raggiunto nei punti trattati in precedenza, ponendo l'attenzione su come esso vari durante le ore del giorno in funzione della presenza o meno di superfici cool su edifici e strade. Si sono scelti i valori ottenuti dai recettori "1" e "2". Il primo, come detto in precedenza, rappresenta le temperature dell'aria nelle vicinanze di una zona verde, il secondo invece le temperature in prossimità di un incrocio stradale in un punto sufficientemente centrale della mappa tale da non risentire degli effetti di bordo. Come indice di comfort è stato scelto l'indice di Thom "DI", che combina in un singolo valore l'effetto di temperatura, umidità e movimento dell'aria sulla sensazione di caldo e freddo percepita dal corpo umano. L'indice è calcolato mediante la seguente equazione lineare:

$$DI = 0,4 \times (T_a + T_w) + 4.8$$

avendo indicato con T_a la temperatura di bulbo asciutto e T_w la temperatura di bulbo umido. Confrontando il valore di DI ($^{\circ}C$), ottenuto dall'applicazione della formula, con i valori soglia riportati nella seguente tabella di classificazione dell'indice, viene individuato il livello di disagio.

Descrizione	DI
Benessere	DI<21
Meno del 50% della popolazione prova un leggero disagio	21<DI<24
Oltre il 50% della popolazione prova un crescente disagio	24<DI<27
La maggioranza della popolazione prova disagio e un significativo deterioramento delle condizioni psicofisiche	27<DI<29
Tutti provano un forte disagio	29<DI<32
Stato di emergenza medica, il disagio è molto forte, il rischio di colpi di calore è pericoloso ed elevato	DI>32

Nelle seguenti tabelle è riportato il numero di ore in cui il DI rientra nei valori di soglia ai quali corrisponde un distinto livello di disagio.

Recettore 1

	Configurazioni di riflettanza		
	Config. Originale	Cool impatto basso	Cool impatto alto
<21	0.0	0.0	0.0
21<DI<24	6.0	8.0	8.0
24<DI<27	10.0	10.0	13.0
27<DI<29	8.0	6.0	3.0
29<DI<32	0.0	0.0	0.0
DI>32	0.0	0.0	0.0

Recettore 2

	Configurazione di riflettanza		
	Config. Originale	Cool impatto basso	Cool impatto alto
<21	0.0	0.0	0.0
21<DI<24	3.0	5.0	8.0
24<DI<27	12.0	12.0	11.0
27<DI<29	6.0	7.0	5.0
29<DI<32	3.0	0.0	0.0
DI>32	0.0	0.0	0.0

Le tabelle dimostrano come l'indice DI sia influenzato in maniera positiva dall'incremento progressivo del valore di riflettanza dell'area considerata. Ad esempio per l'area verde (recettore "1") il numero di ore in cui la popolazione prova disagio e un sensibile deterioramento delle condizioni psicofisiche passa da 8 ore nella configurazione con riflettanza originale a 6 ore per la configurazione relativa ad applicazione di cool material a impatto basso, fino ad arrivare a 3 ore con cool material ad alto impatto. L'area verde, infatti, presenta un livello di comfort più favorevole. Il discomfort complessivo dell'intera zona risulta essere comunque elevato: nel maggior numero di ore della giornata in entrambi i casi l'indice individua una situazione in cui il 50% della popolazione prova un crescente disagio. Ciò risulta probabilmente causato da un insufficiente estensione delle aree vegetative.

CONCLUSIONI

L'isola di calore urbana o Urban Heat Island è un fenomeno che affligge in maniera persistente e in alcuni casi anche elevata molti centri abitati in tutto il mondo.

Purtroppo questo è un evento a lungo sottovalutato dai tecnici ed enti pubblici, ma che con l'aumento dell'urbanizzazione, la costruzione di edifici verticali sempre più alti e ravvicinati tra di loro e la contestuale riduzione delle aree verdi all'interno dell'ambiente cittadino, ha portato ad una sostanziale differenza delle temperature massime raggiunte all'interno dei centri abitati, rispetto alle massime delle zone rurali limitrofe. Grazie ad una presa di coscienza da parte delle comunità, intese come Stati, si è riuscito ad individuare questo problema e ad intervenire, non solo in termini di prevenzione rispetto le nuove costruzioni, ma l'adeguamento degli edifici esistenti. Le principali azioni di mitigazione nelle zone urbane sono rappresentate dall'utilizzo di materiali freddi o meglio cool material, conseguendo naturalmente un abbassamento delle temperature e quindi un minore fabbisogno energetico da parte degli impianti di climatizzazione con minori emissioni di CO₂. Tutto ciò è rivolto ad un miglioramento delle condizioni di vita nelle città, soprattutto quelle densamente popolate, ma non solo per quanto riguarda il livello di comfort termico, ma anche rispetto alla qualità dell'aria, alle emissioni e/o scorie prodotte. I benefici si estendono anche da un punto di vista strutturale perché, prestando attenzione nella scelta ed utilizzo di materiali appropriati, potremmo non stressare gli edifici sottoponendoli a temperature di esercizio a volte molto superiori di quelli utilizzati nei modelli di calcolo. In conclusione lo studio delle isole di calore aiuta

notevolmente a favorire un accrescimento della qualità della vita anche nelle metropoli restituendo ai cittadini che le abitano un ambiente salutare.

BIBLIOGRAFIA

- A. REBUS 2 COMBIAMENTI CLIMATICI
- B. REBUS 12
- C. “SUPPRESSION OF RAIN AND SNOW BY URBAN AND INDUSTRIAL AIR POLLUTION” DI Daniel Rosenfeld
- D. “CITIES IN EUROPE THE NEW OECD-EC DEFINITION” DI Lewis Dijkstra e Hugo Poelman
- E. “IL CAMBIAMENTO CLIMATICO SCALDA LE CITTA DUE VOLTE PIÙ DELLE CAMPAGNE” articolo in base allo studio dell’Università di Loviano
- F. “I COOL ROOF IN EUROPA, INIZIATIVE ED ESEMPI”
www.coolroofs-eu.eu
- G. “HEAT ISLAND COMPENDIUM” EPA, United States Environmental Protection Agency
- H. “HEAT ISLAND STRATEGIES” EPA, United States Environmental Protection Agency
- I. “HEAT ISLAND IMPACTS” EPA, United States Environmental Protection Agency
- J. “RIGENERAZIONE URBANA, RESILIENZA, RE/EVOLUTION” DI Pierluigi Mantini
- K. “CLIMATE CHANGE: IMPLICATIONS FOR BUILDINGS” in collaborazione con “University of Cambridge”, “BPIE”, “Global Buildings Performance Network” e “wbcsd”
- L. “IMPATTO DEI COOL MATERIAL SULLA MITIGAZIONE DELL’ISOLA DI CALORE URBANA E SUI LIVELLI DI COMFORT TERMICO NEGLI EDIFICI” di Aldo Fanchiotti ed Emiliano Carnielo, in collaborazione con l’ENEA o Agenzia nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, il Ministero dello Sviluppo Economico e l’Università degli studi di Roma Tre.
- M. Howard L. (1883) The climate of London, vols. I–III. London: Harvey and Dorton.
- N. Huang L., Li J., Zhao D., Zhu J. (2008) ‘A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing’, Building and Environment vol. 43, pages 7-17.
- O. Kolokotroni M., Giannitsaris I., Watkins R. (2006) ‘The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies’, Solar Energy vol. 80 (4), pages 383-392.
- P. Santamouris M. (2007) ‘Heat island research in Europe—the state of the art’, Advances Building Energy Research, Vol.1, Number1, pages 123-150.
- Q. Taha H., Chang S.C., Akbari H. (2000) ‘Meteorological and air quality impacts of heat island mitigation measures in three U.S. Cities’, Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL- 44222, Berkeley, CA.

R. Fanchiotti, A., Carnielo, E., Zinzi, M., (17-21 Maggio 2011) 'Cool Roofs: Monitoring A Retrofit Project In Rome, Italy', Proceedings of 40th Annual Conference of the American Solar Energy Society SOLAR 2010, Raleigh, North Carolina, USA.