



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale
In Architettura per il Progetto Sostenibile
A.a. 2021/2022
Sessione di Laurea Magistrale Dicembre 2021

Analisi delle isole di calore e studio del comfort termico ambientale esterno

Relatore:
Prof.ssa
Guglielmina Mutani

Candidato:
Beatrice Curtabbi

Sommario	5
Introduzione.....	5
Capitolo 1: L'isola di calore urbana	6
1.1. UHI – Urban Heat Island	6
1.2. Catalogazione.....	8
Capitolo 2: Le cause del fenomeno.....	11
2.1. Cosa influenza le isole di calore.....	11
2.2. Il bilancio energetico	12
2.3. Le diverse variabili controllabili	14
<i>Le aree verdi</i>	<i>14</i>
<i>Caratteristiche dei materiali e inquinamento urbano</i>	<i>15</i>
<i>Geometria e canyon urbani</i>	<i>16</i>
<i>Riassumendo</i>	<i>18</i>
Capitolo 3: Le tecniche di mitigazione.....	20
Capitolo 4: Comfort termico in ambiente esterno	22
<i>Produzione di calore metabolico – M.....</i>	<i>24</i>
<i>Assorbimento di radiazione solare e terrestre – Rabs.....</i>	<i>25</i>
<i>Perdite o guadagni di calore per convezione – Conv.....</i>	<i>25</i>
<i>Radiazione terrestre emessa – T_{emit}.....</i>	<i>26</i>
<i>Perdite di calore per evaporazione – Evap.....</i>	<i>26</i>
Capitolo 5: Metodo progettuale.....	28
Bibliografia.....	30
Sitografia	31

Introduzione

Il fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane rispetto alle campagne o alle aree rurali circostanti è denominato *isola di calore urbana* (Urban Heat Island).

Il fenomeno è noto dal XIX secolo, ma solamente negli ultimi anni ha suscitato interesse nel mondo scientifico. Diverse città e metropoli sono state oggetto di studi per comprenderne le diverse caratteristiche, le cause e gli impatti per potere capire e individuare le tecniche di mitigazione dell'alterazione termica.

In questo elaborato si intende spiegare il fenomeno e come mitigarlo approcciandosi agli studi di calcolo del confort termico negli ambienti esterni. Qualora l'effetto dell'isola di calore fosse presente è possibile individuare le sue dinamiche temporali, di quantificare il loro grado d'intensità e alcuni possibili interventi di mitigazione.

Per prima cosa verranno descritte le definizioni e le diverse tipologie che determinano la nascita del fenomeno.

Successivamente verranno elencati i fattori responsabili dell'effetto.

Naturalmente è di maggior interesse studiare le variabili che influenzano l'effetto, come le attività svolte dall'essere umano nelle aree urbane e le caratteristiche degli edifici che la creano. A seguire verranno presentate le diverse tecniche di mitigazione possibili in grado di procurare benefici ai singoli edifici, ad un'intera città se adottati diffusamente e un approfondimento sulle diverse tipologie di stime e del calcolo del comfort negli spazi esterni.

Capitolo 1: L'isola di calore urbana

1.1. UHI – Urban Heat Island

Negli ultimi secoli il processo di urbanizzazione con la crescita demografica, a livello mondiale, hanno determinato una notevole modifica del territorio. Il cambiamento del microclima è uno degli aspetti negativi conseguenti a queste trasformazioni.

L'acronimo nasce nel 1818, quando Luke Howard descrive l'evolversi del fenomeno per mezzo di rilievi grafici mappati, in cui osserva come le temperature con le curve isoterme sopra alle aree urbane ricordino un'isola nel mare intorno alle zone rurali circostanti con una temperatura più bassa.

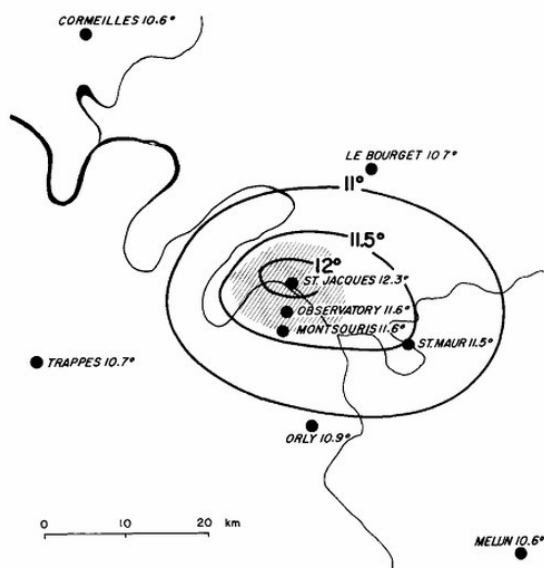


Figura 1.1. Isotherme annue nell'area di Parigi (Landsberg 1981)

Certamente non tutte le zone delle città presentano un'alterazione termica simile alle altre aree urbane. Attraverso l'Urban Heat Island

Intensity (UHII), utilizzato come indicatore, possiamo quantificare lo scostamento prodotto e l'intensità del fenomeno.

I quartieri e le zone cittadine caratterizzate da una maggiore intensità, quindi ad alta densità edilizia, sono rappresentate dalle cime dell'isola; mentre quelle che comprendono attraversamenti pluviali, come laghi e fiumi, o coperte dalla vegetazione, come i parchi o i viali alberati, sono al contrario caratterizzate da intensità inferiori.

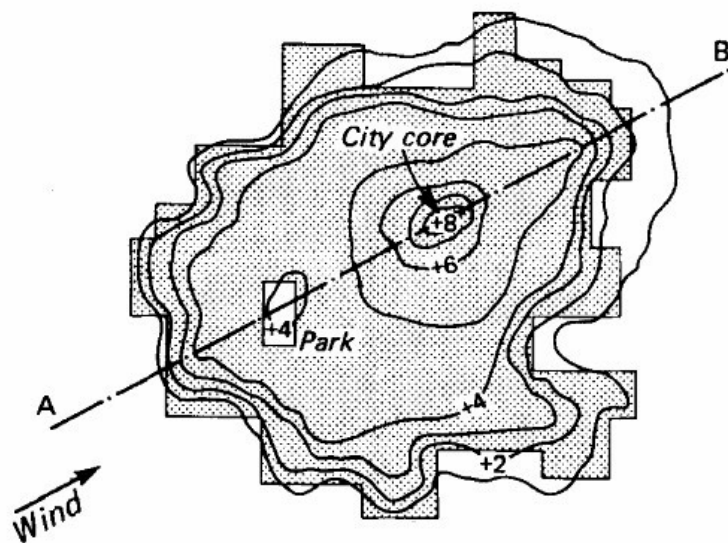


Figura 1.2. Isola di calore

L'entità del fenomeno varia con le condizioni atmosferiche, le stagioni e le ore del giorno.

Per comprendere l'entità dell'alterazione si possono considerare le grandi città con una popolazione pari o superiore a un milione di abitanti.

L'effetto è stato oggetto di numerosi studi per comprenderne le caratteristiche, le cause, gli impatti e per individuare possibili tecniche di mitigazione, rispetto alla prima osservazione di Howard, le isole di calore sono state oggetto di crescente interesse e individuate in diverse città situate in ogni regione climatica.

1.2. Catalogazione

Le diverse condizioni che rappresentano il fenomeno più nel dettaglio ovviamente sono correlate, ma è doveroso distinguerle in un'analisi che ne spieghi la differenza di origine, delle tecniche di misurazione e delle dinamiche temporali.

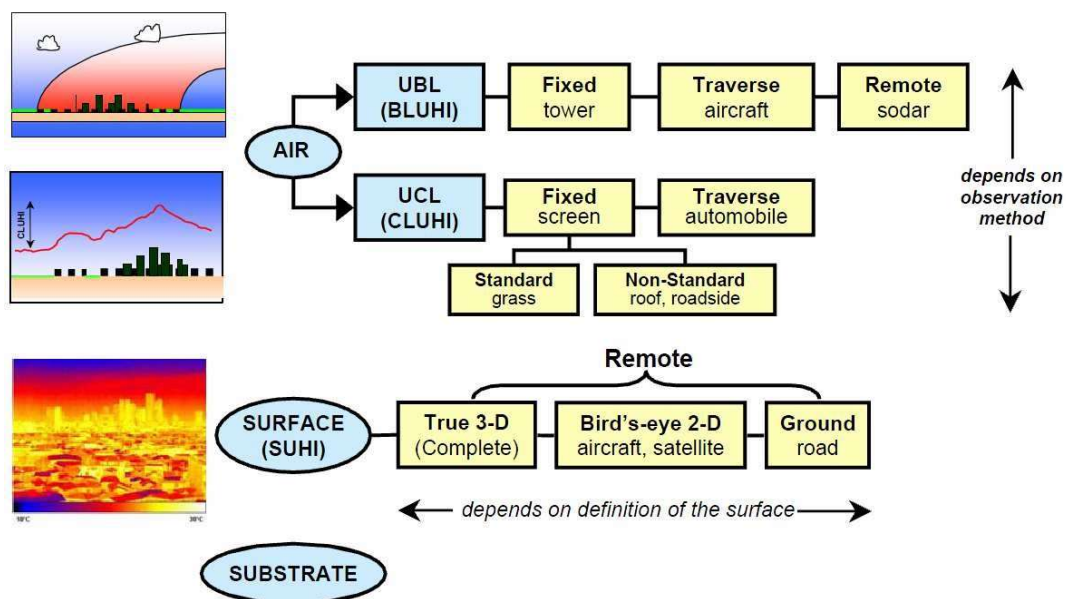


Figura 1.3. Le tipologie di UHI e conseguenti metodi di misurazione

Le aree ombreggiate, caratterizzate da una maggiore umidità hanno temperature rilevabili che non si discostano in maniera considerevole da quella dell'aria: il fenomeno viene descritto come *"isola di calore di superficie"*. Nelle aree in cui c'è un'antropizzazione ad alta densità si riscontra una differenza di temperatura tra le ore notturne e le ore diurne con uno spettro di variazione di circa 10°C legato alla variazione e/o all'assenza/presenza della radiazione solare.

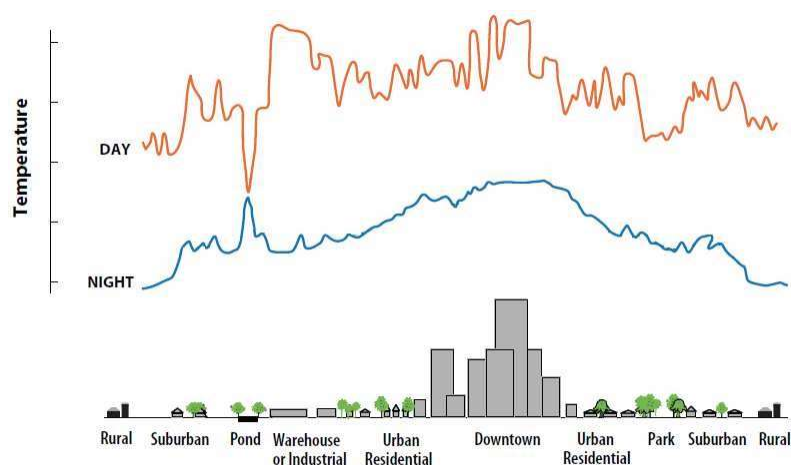


Figura 1.4. Variazione delle temperature di giorno e di notte

Sono stati effettuati dei rilievi a conforto del presupposto che si possano verificare delle anomalie nella percezione e quindi nella risposta fisiologica della temperatura corporea indotte dalla presenza del fenomeno sia nell'atmosfera che nel sottosuolo.

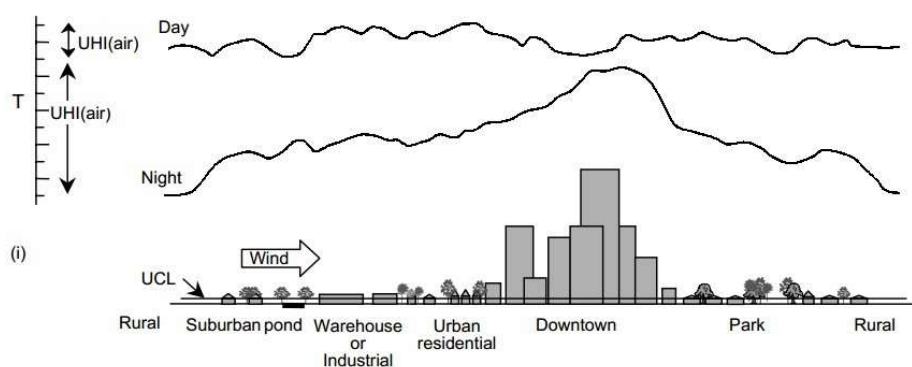


Figura 1.5. Andamento del fenomeno rispetto alle diverse situazioni sottostanti

Significativi esempi di sviluppo del fenomeno sono stati osservati in alcune megalopoli, tuttavia le due grandi città in cui si è più approfondito lo studio sono state Atene e Seul.

La prima risente del fenomeno maggiormente alla variazione giorno/notte, la seconda risulta invece risentire di una forte caratterizzazione del fenomeno durante la stagione invernale prescindendo dall'intensità della radiazione.

“L'isola di calore dello strato della copertura urbana” non presenta le stesse caratteristiche in qualsiasi area urbana, anche se fossero presenti dei caratteri prevalenti: queste differenze osservate permettono di affermare che qualsiasi area urbana è influenzata in maniera significativa dalle sue particolarità.

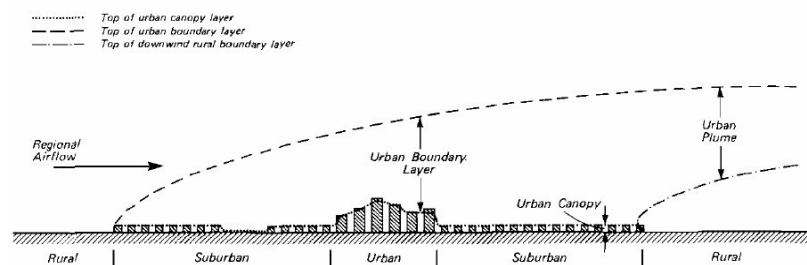


Figura 1.6. Rappresentazione dell'Urban Boundary Layer (Oke 1976)

Il riscaldamento anomalo delle superfici urbane provoca delle modifiche anche negli strati superiori dell'atmosfera. Le numerose alterazioni climatiche, su micro scala prodotte dalle singole superfici, producono un effetto di mesoscala denominato *“isola di calore dello strato limite urbano”*.

Capitolo 2: Le cause del fenomeno

2.1. Cosa influenza le isole di calore

L'isola di calore urbana descrive la differenza termica provocata da fattori tra loro collegati che variano a seconda delle specificità proprie di ogni centro urbano assumendo un ruolo significativo.

L'origine del fenomeno risiede nell'alterazione da parte dell'uomo delle caratteristiche superficiali cittadine; tuttavia l'energia e l'intensità del fenomeno sono influenzate dalla posizione geografica, dal momento temporale considerato e dalle condizioni meteorologiche. Le variabili che maggiormente controllano l'intensità sono: il vento e la presenza/assenza di radiazione solare.

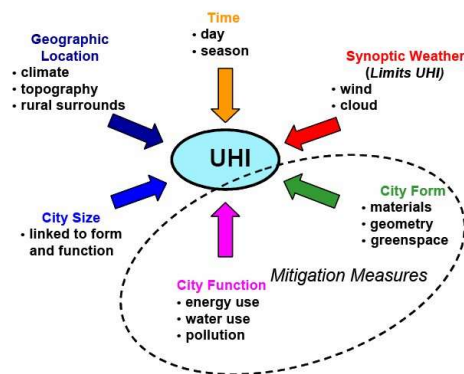


Figura 2.1. Fattori che influenzano l'effetto UHI (Voogt 2006)

Aspetti che modificano rispettivamente la turbolenza atmosferica e l'irraggiamento solare. Durante le notti estive è possibile esaminare nella maggior parte delle città la massimizzazione dell'effetto UHI, mentre il regime dei venti è diverso a seconda della morfologia del territorio (laghi, fiumi e montagne).

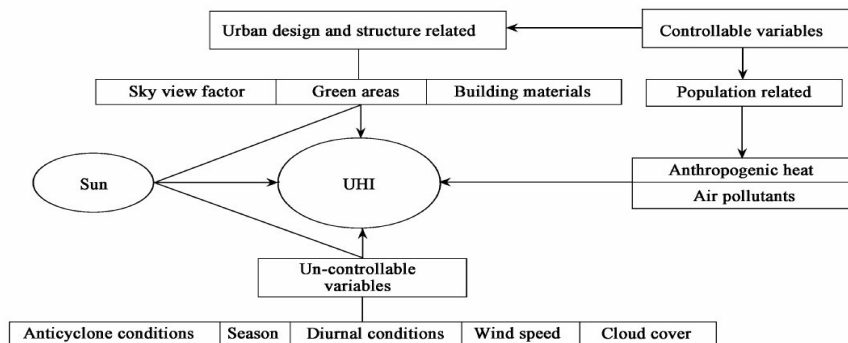


Figura 2.2. Catalogazione degli eventi scatenanti dell'effetto UHI

Nei centri urbani è risaputo che al diminuire della vegetazione e all'aumentare della presenza di superfici impermeabili corrisponde una riduzione degli equilibri che regolano i processi che determinano il tasso di umidità nell'aria fino ad annullare processi fondamentali quali la traspirazione e l'evaporazione.

Tale situazione viene coadiuvata inoltre dal calore prodotto dalle attività antropiche e dall'effetto serra urbano generato dall'inquinamento.

2.2. Il bilancio energetico

Le cause che comportano l'effetto dell'isola di calore determinano una differenza tra il bilancio energetico superficiale tra le aree rurali circostanti e le aree urbane cittadine; lo studio dei fattori dell'equazione che esprime il principio di conservazione dell'energia aiuta a legare l'alterazione alle cause che la determinano e permette a chi ne studia gli effetti di realizzare dei modelli per simulare l'andamento delle temperature.

L'espressione del bilancio energetico applicato ad una superficie è:

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G$$

Dove:

Q^* : radiazione netta

Q_H : flusso di calore turbolento sensibile

Q_E : sono il flusso di calore turbolento latente

Q_G : flusso di calore scambiato per conduzione con il suolo.

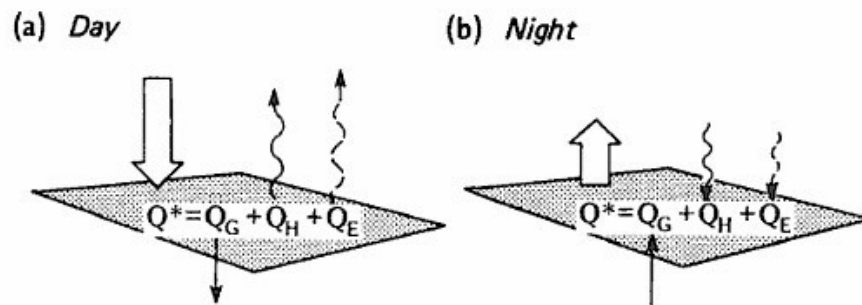


Figura 2.3. Orientamento dei flussi energetici diurni e notturni in una zona rurale

Se si considerano l'umidità e la capacità di accumulare calore è possibile confermare in modo generale che molte delle superfici urbane sono certamente diverse da quelle rurali: le coperture cittadine sono caratterizzate da maggiore inerzia termica, nella maggior parte dei casi sono impermeabili e impediscono quindi l'accumulo d'acqua.

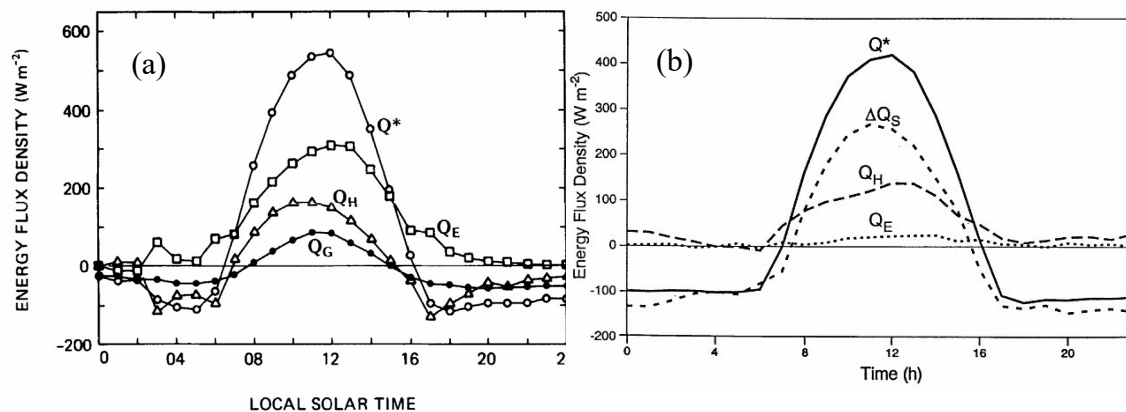


Figura 2.4. Variazione diurna del bilancio energetico (a) di un prato rurale e (b) del tetto piano di un edificio (Oke et al. 1999)

La dispersione del calore per evaporazione durante il giorno è quasi assente per via dell'assenza di vegetazione e dell'impermeabilità delle superfici e il calore viene accumulato nelle strutture in maniera rilevante.

2.3. Le diverse variabili controllabili

E' fondamentale conoscere quali siano le attività umane e le modifiche ambientali che condizionano il bilancio energetico urbano per poter studiare i metodi di mitigazione del fenomeno.

Le aree verdi

La presenza delle aree verdi contribuisce all'abbassamento della temperatura grazie all'evapotraspirazione e, in caso di alberi ad alto fusto, all'ombreggiamento. Il fenomeno si divide in evaporazione e traspirazione vegetale.

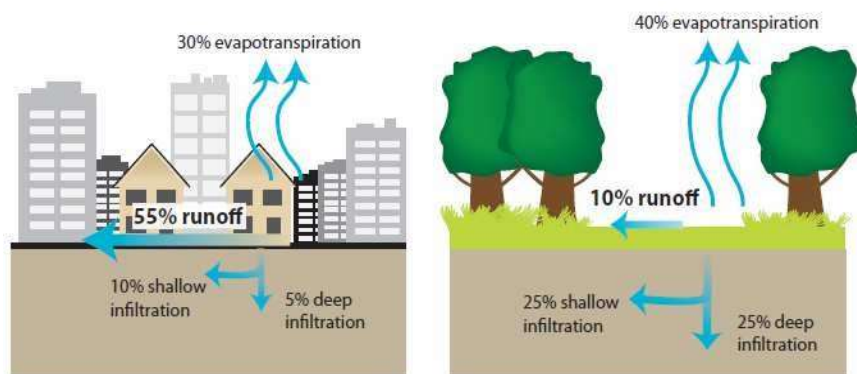


Figura 2.5. L'impermeabilità delle superfici e i processi di evapotraspirazione (Akbari 2008)

Caratteristiche dei materiali e inquinamento urbano

Le caratteristiche dei materiali utilizzati nel contesto urbano concorrono a sviluppare il fenomeno, in quanto le loro proprietà radiative comportano maggiore incidenza nell'alterazione dei flussi radiativi superficiali rispetto a quelli utilizzati nelle zone rurali.

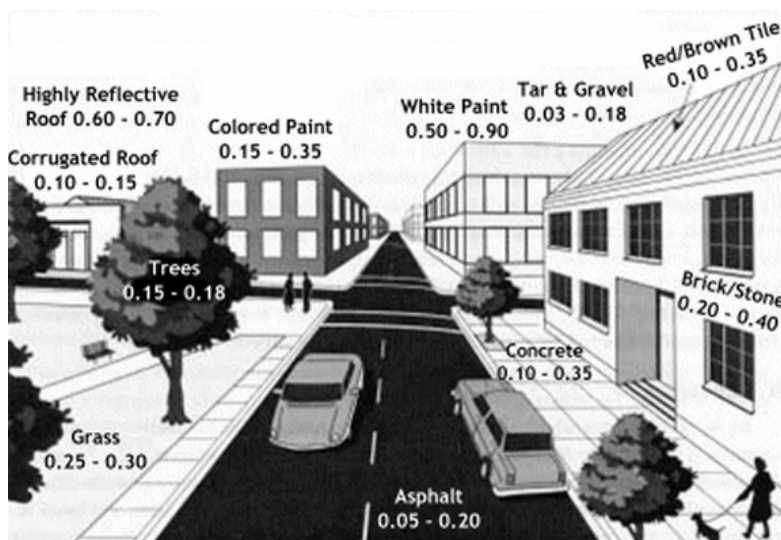


Figura 2.6. Valori di albedo tipici di alcuni materiali

Geometria e canyon urbani

Altra nota caratteristica frequente, definita canyon urbano è una condizione geometrica legata alla disposizione topografica degli edifici, che risulta essere in grado di modificare fortemente i percorsi della radiazione. L'effetto è denominato *canyon* in seguito all'analogia paesaggistica creata dall'unione di due edifici adiacenti e da una strada situata tra di loro.

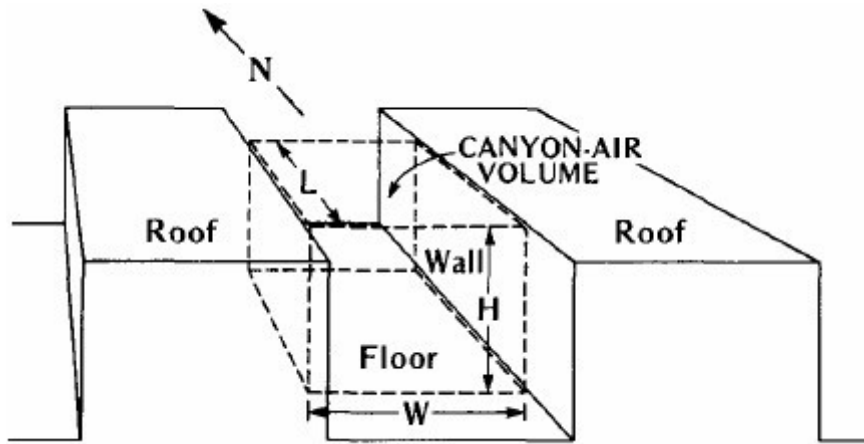


Figura 2.7. Schema di un canyon urbano (Nunez e Oke 1977)

La geometria di questa disposizione degli edifici influenza il bilancio energetico urbano in diversi modi: aumenta la superficie esposta ai processi di scambio, impedisce quasi l'ingresso della radiazione solare, determina un collegamento tra le superfici che lo compongono, limita la capacità di dispersione della radiazione infrarossa ad onda lunga e limita la turbolenza dell'aria.

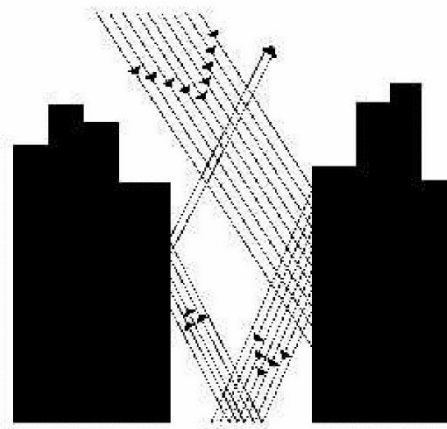


Figura 2.8. L'incremento dell'albedo con le riflessioni e gli assorbimenti multipli in un canyon urbano

I parametri per definire la geometria dei canyon sono:

- L'orientamento dell'edificio rispetto ai punti cardinali;
- Il rapporto tra l'altezza e la larghezza della struttura (H/W);
- I fattori di vista;

Diversi studi sul rapporto dimostrano una diminuzione della porzione di cielo visibile dalla strada all'interno del *canyon*. Questo parametro è comunque inadatto per descrivere in maniera efficace la grande varietà delle situazioni urbane. La misura più elastica e più impiegata per quantificare quanto la geometria influenzi sugli scambi radiativi è lo *Sky View Factor* (SVF o ψ_s), che indica la porzione di cielo visibile da un punto di osservazione. Più alto è il parametro e maggiore è la perdita di calore in atmosfera.

Riassumendo

Le “*diversità controllabili*” che determinano il fenomeno dell’isola di calore, sono ben sintetizzate in figura 2.18.

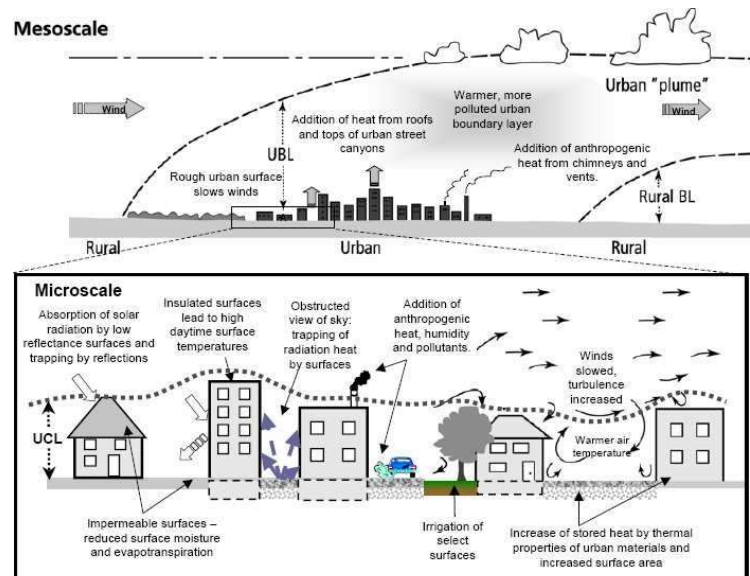


Figura 2.9. Rappresentazione grafica delle cause controllabili dell’UHI (Voogt 2006)

- *Superfici impermeabili e riduzione della vegetazione* – senza vegetazione non c’è abbastanza umidità disponibile, questo riduce i processi di evaporazione e traspirazione comportando un aumento del calore sensibile;
- *Proprietà differenti dei materiali* – valutazione delle caratteristiche termofisiche dei componenti opachi e trasparenti come guida a una corretta progettazione;
- *Geometria urbana* – la riprogettazione architettonica a partire dal recupero delle aree di grande antropizzazione destinate a risentire del fenomeno;

- *Inquinamento atmosferico* – l'inquinamento atmosferico in generale agendo trasversalmente su grandi aree fortemente urbanizzate, quali ad esempio la Pianura Padana, può in condizioni particolari sommarsi all'inquinamento endogeno prodotto dalla singola città;
- *Calore antropogenico* – agisce sulla percezione di confort o discomfort, è una caratteristica fisiologica dettata da diverse condizioni tutte variabili e molto differenti da soggetto a soggetto, quali ad esempio: frequenza del battito cardiaco, la capacità respiratoria, pressione del sangue, ecc. e naturalmente, dalle condizioni di stato: seduto, in piedi, in movimento, ecc.

Capitolo 3: Le tecniche di mitigazione

Alla base delle tecniche di mitigazione del fenomeno, sta sicuramente una rivisitazione delle nostre attività e delle nostre abitudini.

Il problema delle isole di calore urbane purtroppo influenza l'ambiente cittadino e la qualità e lo stile di vita delle persone. Le stesse, risultano essere assorbite in un loop della quale sono l'effetto volano: ad esempio, durante la stagione estiva è risaputo che si verifica la più alta richiesta di potenza elettrica per il maggior ricorso all'utilizzo dei condizionatori, provocando maggiori emissioni di calore, che aumentano la temperatura generale in seguito a maggiori emissioni di gas serra e altri inquinanti e dunque, riducendo molto la qualità dell'aria, ecc.

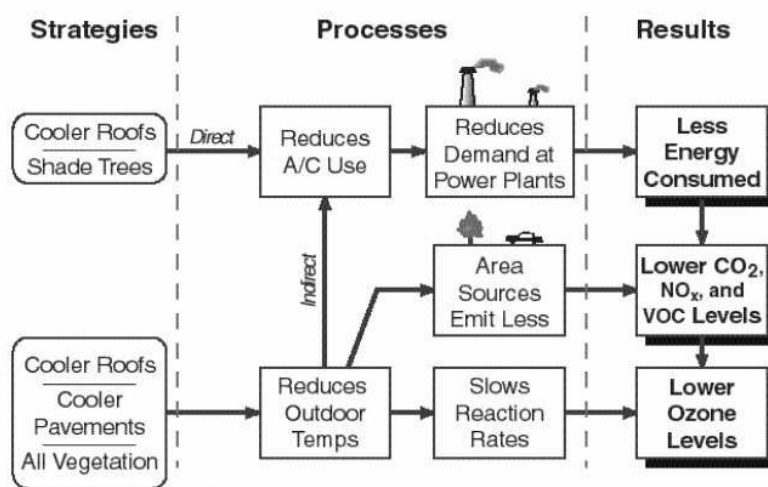


Figura 3.1. Le tecniche di mitigazione dell'effetto isola di calore urbana

Da anni il fenomeno è conosciuto mentre è più recente la preoccupazione della società verso le conseguenze negative che le UHI portano. Questo interesse ha contribuito a promuovere lo sviluppo di strategie per la riduzione dell'effetto.

E' convincimento diffuso che gli interventi volti a mitigare il fenomeno dovrebbero in particolare prendere in esame soluzioni volte a:

- Aumentare la dispersione del calore o ridurne la capacità di acquisizione nella struttura;
- Variare le incidenze zenitali tipiche anche ricorrendo a diverse geometrie negli edifici;
- Ridurre la quantità di calore sensibile causa dell'aumento della temperatura a favore del calore latente, aumentando la permeabilità delle superfici e la presenza di vegetazione;
- Limitare i consumi di energia elettrica migliorando l'efficienza energetica;

Capitolo 4: Comfort termico in ambiente esterno

I parametri ambientali che influenzano le condizioni di comfort termico esterno interagiscono con i dati climatici e dunque, le tecniche di studio attualmente utilizzate per valutare la condizione di confort della persona in ambiente esterno, fanno riferimento a modelli matematici di valutazione del bilancio energetico della persona per non essere influenzati dalla collocazione geografica del rilievo.

In Italia ad esempio, abbiamo differenze di condizioni climatiche importanti da nord a sud, da estate a inverno, e ovviamente dal giorno alla notte particolarmente durante la stagione invernale.

Ogni grande centro urbano ha una particolare criticità tra quelle prese in esame o magari più di una, ma per quanto si possa considerare ormai un fenomeno consolidato e definito, esso mantiene come abbiamo visto una condizione di particolarità a seconda di dove si manifesta non solo da paese a paese ma addirittura nella stessa città. Pertanto la stima della condizione di confort sviluppata sul bilancio energetico della persona, proprio perché riferirsi alla sola condizione climatica, imporrebbe molti limiti nella valutazione esatta e non ultimo il problema di considerare ulteriori variabili. Quindi il bilancio energetico stabilisce come valore di riferimento per la condizione di confort un valore vicino allo zero ($\pm 50 \text{ W/mq}$).

I parametri utilizzati nel modello sono:

- Temperatura dell'aria ($^{\circ}\text{C}$)
- Velocità del vento (m/s)

- Umidità relativa (%)
- Radiazione totale assorbita dalla persona (W/mw)
- Il tipo di abbigliamento
- Caratteristiche della persona legate al metabolismo

Proprio quest'ultimo parametro, unitamente alle capacità di termoregolazione del soggetto, presente nel modello matematico, mette in luce un limite, confermato anche dalle indagini condotte in campo, e cioè che benché simili alle azioni fisiche e psicologiche di auto adattamento messe in atto dalla persona che avvengono *"indoor"* sono diverse da quelle che avvengono nell'adattamento *"outdoor"* perché subordinate a una maggiore quantità di variabili anche climatiche già considerate.

L'importanza del microclima si assume proprio partendo da questo presupposto; che le condizioni più prossime in cui si trova la persona sono quelle che interagiscono con il suo metabolismo. Quindi risulta determinante avere la possibilità di poter creare condizioni di microclima come avviene *"indoor"* e di controllarne l'efficacia e se vogliamo, avendone provata la validità del modello, riproporlo e controllarlo.

Uno dei principali obiettivi del controllo del microclima degli spazi esterni è creare un ambiente confortevole per le persone che utilizzano questo spazio. Il modo più comune di valutarlo è mediante gli *"indici di comfort"*. Sul tema esiste un'ampia bibliografia. Autori come Victor Olgyay, Baruch Givoni o P.O. Fanger, sono i pionieri e molti dei lavori successivi si sono basati sui loro studi.

Il modello che qui si presenta basato sui lavori di H. Mayer, J.E. Burt e R.D. Brown e T. Gillespie, oltre che sul modello di Fanger.

Il comfort di una persona in uno spazio esterno si può stimare quantitativamente mediante il suo bilancio energetico.

L'equazione di base è:

$$\text{Bilancio} = M + R_{\text{abs}} - \text{Conv} - \text{Evap} - R_{\text{emit}}$$

Dove:

M = calore metabolico emesso dalla persona;

R_{abs} = radiazione solare e terrestre assorbita;

Conv = calore sensibile dissipato per evaporazione;

Evap = calore dissipato per evaporazione;

R_{emit} = radiazione terrestre emessa (onda lunga);

Produzione di calore metabolico – M

L'intero calore metabolico generato da una persona (M*) è utilizzato dal suo corpo in due modi: 1) una piccola parte (f) viene dissipata durante la respirazione per evaporazione, e 2) il resto (M) è condotto fuori dal corpo attraverso la pelle e da qui si dissipa per convezione con l'aria. Per descrivere questa perdita si usa:

$$f = 0,150 - (0,0173 \times e) - (0,0014 \times T_a)$$

$$e = 0,6168 \times \exp(17,269 \times T_a) / (T_a + 273,3)$$

dove e è la pressione del vapore di saturazione dell'aria e T_a è la temperatura dell'aria in °C.

$$M = (1 - f) \times M^*$$

I valori di M* sono in funzione dell'attività. Alcuni tipici si possono vedere nella tabella:

Assorbimento di radiazione solare e terrestre – R_{abs}

Il valore di R_{abs} si può stimare facendo un bilancio dell'energia radiante che giunge alla persona, a partire dai dati di radiazione solare e dalle proprietà radianti degli oggetti circostanti, superfici ed elementi vegetali presenti nel sito.

Perdite o guadagni di calore per convezione – $Conv$

Il flusso di calore del corpo di una persona verso l'ambiente si trasmette attraverso la pelle, i vestiti e infine lo strato d'aria che lo circonda. L'equazione che descrive questo flusso è:

$$Conv = 12000 \times (T_c - T_a) / (r_t + r_c + r_a)$$

Dove T_c è la temperatura corporea (°C) della persona, r_t è la resistenza termica corporea, r_c è la resistenza dello strato di aria che circonda il corpo. Questi valori possono ottenersi mediante:

$$T_c = 36,5 + (0,0043 \times M)$$

e:

$$r_t = (-0,1 \times M^*) + 65$$

$$r_c = 0,17 \times (Re \times Pr^{0,33} \times k)$$

$$r_a = r_{co} \times [1 - 0,5 \times \min(0,4 \times W, 0,5)] \text{ quando } W > 0,7 \text{ m/s}$$

$$r_c = r_{co} \text{ quando } W < 0,7 \text{ m/s}$$

Dove:

r_{co} = isolamento del vestiario;

P = impermeabilità all'aria del vestiario;

Re = numero di Reynolds = $W \times D/v = 11333 \times W$ in questo caso;

Pr = numero di Prandtl = 0,71;

D = diametro della persona (m);

W = velocità del vento (m/s);

ν = viscosità cinematica;

K = diffusività termica dell'aria = 0,0301;

Radiazione terrestre emessa – T_{emit}

La radiazione terrestre emessa da una persona può essere stimata come:

$$T_{emit} = 5,67 \times 10^{-8} \times (T_s + 273)^4$$

Dove T_s è la temperatura superficiale della persona che può essere calcolata con la seguente equazione:

$$(T_s - T_a) / r_a = (T_c - T_a) / (r_t + r_c + r_a)$$

Perdite di calore per evaporazione – $Evap$

Le perdite per evaporazione sono dovute alla respirazione e alla traspirazione. Le perdite per respirazione sono già incluse in M .

La traspirazione possiamo dividerla in perdite “insensibili” (E_i) attraverso la pelle e “sensibili” (E_s) per l'evaporazione del sudore sulla pelle. Per valutarle si possono usare le seguenti equazioni:

$$E_s = 0,42 \times (M - 58)$$

e

$$E_i = 5,24 \times 10^6 \times (q_s - q_a) / (r_{cv} + r_{av} + r_{tv})$$

Dove il sub-indice v indica la resistenza al vapore, q_s e q_a sono l'umidità specifica di saturazione alle temperature T_s e T_a rispettivamente, che si possono determinare usando la temperatura corrispondente nella seguente equazione:

$$q = 0,6108 \times \{\exp [(17,269 \times T) / (T + 237,3)]\}$$

Allo stesso modo possiamo ottenere la temperatura della pelle (T_k):

$$(T_k - T_a) / (r_a + r_c) = (T_c - T_a) / (r_t + r_c + r_a)$$

Useremo valori di 7.7×10^3 per r_{tv} e di $0,92 \times r_a$ per r_{av} e assumeremo che $R_{cv} = r_c$. L'evaporazione totale si calcola come segue:

$$Evap = E_i + E_s$$

Ci sono situazioni in cui l'umidità dell'aria è così alta che non permette che il sudore evapori in modo sufficientemente rapido da assicurare il comfort, allora si utilizza l'evaporazione massima E_m che si calcola come segue:

$$E_m = 5,24 \times 10^6 \times (q_s - q_a) / (r_{cv} + r_{av})$$

Nel calcolo del bilancio si utilizza il valore più basso tra $Evap$ ed E_m .

L'obiettivo del metodo è guidare l'architetto nel processo di progettazione degli spazi esterni in modo che essi abbiano le caratteristiche corrispondenti a chi li vive.

Capitolo 5: Metodo progettuale

L'approccio al metodo progettuale promuove un approccio sinergico tra un'attenta analisi parametrica, già illustrata al capitolo precedente e un'analisi progettuale.

Questo approccio viene definito "*meta-progetto dello spazio urbano*", il metodo si sviluppa dalla scelta del tipo di spazio da analizzare e si completa con l'analisi del paesaggio.

In sintesi sono un'analisi architettonica e un'analisi qualitativa complementari tra loro dove si osservano tutte le caratteristiche che determinano e formano il panorama urbano. Vengono analizzati l'aspetto fisico, lo spazio, i limiti e gli elementi vegetali.

Tutti questi aspetti legati insieme creano un microclima.

A conclusione dello studio di fattibilità si esegue una verifica attraverso una stima del grado di comfort ambientale su uno spettro temporale adeguato che è stato apprezzato dagli utenti dello spazio in esame e gli effetti che ci sono sul bilancio energetico degli edifici adiacenti. Se i risultati sono soddisfacenti si procederà con lo sviluppo e la concretizzazione del disegno progettuale, diversamente si dovranno riprendere e approfondire le strategie di condizionamento microclimatico di progetto.

In conclusione, se l'obiettivo è mitigare le conseguenze causa di discomfort esposte fin qui, sarà necessario guidare il progettista nel processo di disegno e progettazione degli spazi esterni in modo che abbiano le caratteristiche ambientali corrispondenti alle aspettative di comfort di chi vive lo spazio urbano, sposando i criteri estetico-funzionali a caratteristiche termofisiche e cromatiche dei componenti, sia opachi che trasparenti e biologiche della vegetazione come strumento di condizionamento naturale.

Una progettazione architettonica che faccia tesoro delle esperienze caratterizzanti numerosi tipi di costruzioni che testimoniano la capacità di adattamento alle diverse condizioni climatiche storicamente note e consolidate ci suggeriscono soluzioni architettoniche atte ad accumulare o smaltire calore, fermare, rallentare o accelerare la velocità dell'aria e di conseguenza le condizioni di umidità a costo zero.

Negli ultimi anni stiamo assistendo sempre con maggiore frequenza alla volontà di recupero dei siti industriali dismessi delle nostre grandi città.

Questi tipi di insediamento sono a mio parere un ottimo caso studio da portare avanti in corso d'opera restituendoli al tessuto urbano dopo interventi architettonici e paesaggistici ispirati a soluzioni che li rendano fruibili e confortevoli. Ovviamente per recuperarli è necessario avere un approccio di metodo che permetta di parametrizzare, dimensionare, mettere in rapporto tra loro nelle giuste proporzioni, tutti quelli accorgimenti che concorrono in solido alla mitigazione del fenomeno.

Bibliografia

Scudo G., De La Torre J.M.O., *Spazi verdi urbani*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, Ed.8, Cap.4

Fracastoro G.V., *Confort termico e salute in ambiente esterno*

Fracastoro G.V., *Isole di calore urbane*

Mechella S., *Il verde e i suoi derivati. Quando l'ecologico è DOC?*, Eco-News n.20, Primaprint Editori, Settembre-Ottobre 2012

Ravanello L., *Città per il clima città per le persone*, Arpae CTR Educazione alla Sostenibilità, Webinar Crisi Climatica, 2021

Ferrini F., *Strategie e tecnologie per una crescita Smart delle città*, DiAgro, 2016

Sitografia

Gherri B., *Il confort outdoor per gli spazi urbani*, Ecocities, 2012
www.researchgate.net/publication/323006526_Il_comfort_outdoor_per_gli_spazi_urbani

Colucci C., *Studio dello scambio radiativo in un canyon urbano: analisi delle riflessioni multiple come una delle cause del fenomeno uhi e di un possibile intervento di mitigazione*, 7 Febbraio 2020
<https://core.ac.uk/display/288655941>

Santosuosso A., *Isola di calore, un problema non del tutto compreso fino in fondo*, Foglie TV, 30 Luglio 2021 <https://foglie.tv/isola-di-calore-un-problema-non-del-tutto-compreso-fino-in-fondo/>

Sottana, M., Lazzarin R., Noro M., Busato F., *Analisi sperimentale del fenomeno "Isola di calore" nella città di Padova*, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Tecnica e Gestione dei sistemi industriali, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, 2011/2012
http://tesi.cab.unipd.it/41168/1/Analisi_sperimentale_del_fenomeno_isola_di_calore_nella_citt.pdf

Colucci, C., Vallati A., *Studio dello scambio radiativo in un canyon urbano: analisi delle riflessioni multiple come una delle cause del fenomeno UHI e di un possibile intervento di mitigazione*, Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica, Dottorato in Energia e Ambiente, XXXII Ciclo, 2016/2019
https://iris.uniroma1.it/retrieve/handle/11573/1362662/1360687/Tesi_Dottorato_Colucci.pdf

Palladino M., *Progettare per il climate change*, ISSUU, 2020
https://issuu.com/monicapalladino15/docs/mp_thesis1

Nikolopoulou M. Coordinatrice del progetto, *Progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico*, Fifth Framework Programme 1998/2002, Co-financed by the European Union, 2004
<http://docplayer.it/13017291-Progettare-gli-spazi-aperti-nell-ambiente-urbano-un-approccio-bioclimatico.html>

Battistella L., Noro M., *Il fenomeno dell'isola di calore urbana a Padova: analisi dei dati e scenari di mitigazione*, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale, 2013/2014
http://tesi.cab.unipd.it/46584/1/Tesi_Triennale_Ing._Gest._Luca_Battistella_A.A._20132014.pdf

[https://saperelibero.com/meteorologia-cosa-e-studia-i-fenomeni/#Tornado di classe F5](https://saperelibero.com/meteorologia-cosa-e-studia-i-fenomeni/#Tornado%20di%20classe%20F5)

Ringrazio i miei genitori per aver sempre creduto in me.