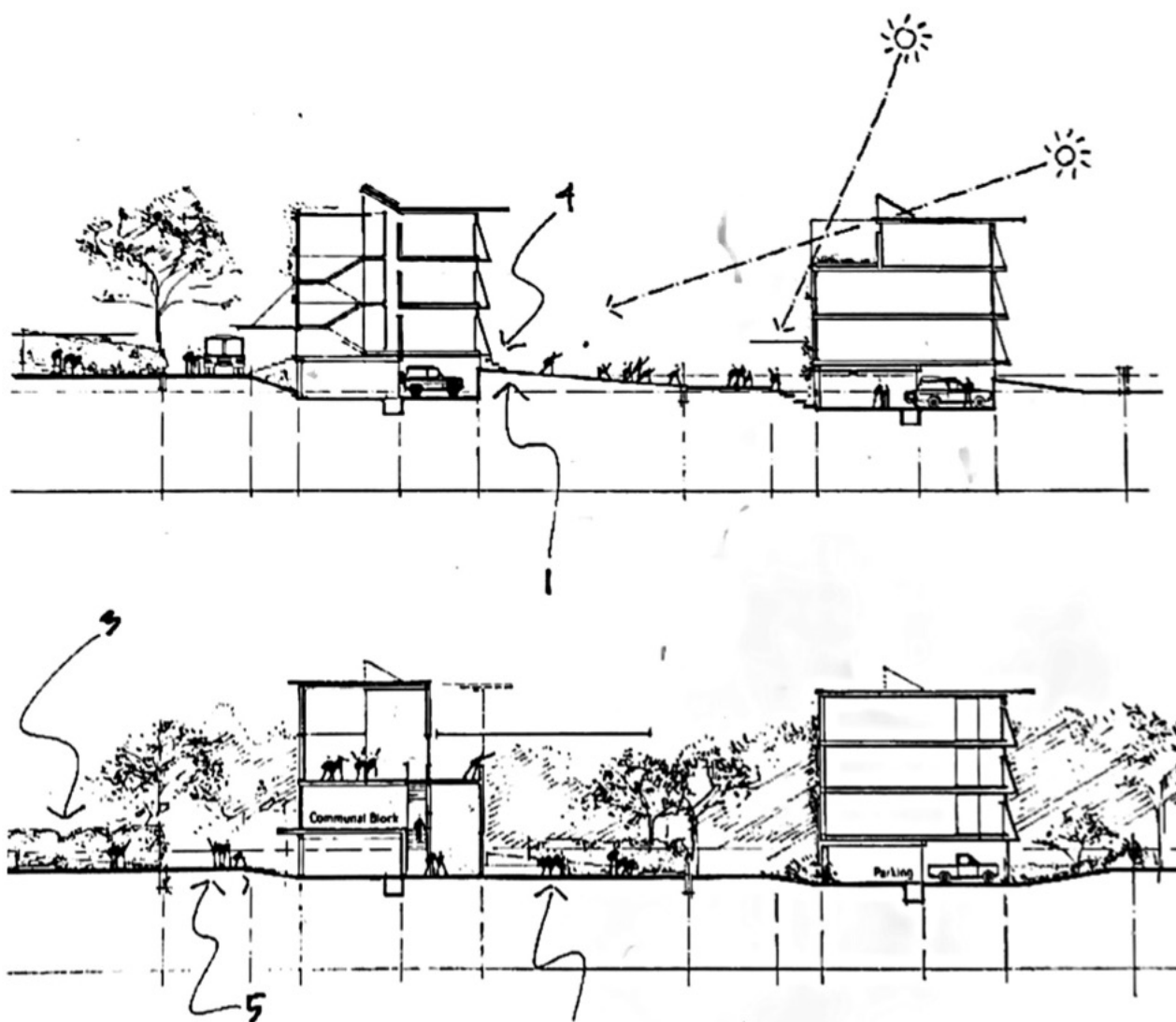


Michele Lepore

Progettazione bioclimatica in ambito urbano



Copyright © MMIV
ARACNE editrice S.r.l.

00173 Roma
via R. Garofalo, 133 A/B
tel. (06) 72672222 telefax 72672233

www.aracne-editrice.it
info@aracne-editrice.it

ISBN 88-7999-646-0

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

I edizione: gennaio 2004

Michele Lepore

**PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA
IN AMBITO URBANO**

indice

PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA IN AMBITO URBANO

Gli insediamenti bioclimatici	7
Gli edifici orientati	7
Lo spazio pubblico	18
Lo spazio pubblico orientato	19
Clima urbano	25
Il fenomeno dell'isola dei calore	27
Modificazioni climatiche indotte dalle aree urbane	37
Le fonti di riscaldamento urbano	39
Isola di calore urbana e dimensione della città	39
Effetto canyon e microclima urbano	41
Il clima dei canyon urbani	41
La distribuzine della temperatura nei canyon urbani	42
Il flusso d'aria nel canyon urbano	51
Flusso lungo il canyon	56
Flusso inclinato all'asse del canyon	57
Effetti della densità urbana e dell'altezza del costruito sulla ventilazione della città	58
Impatti climatici dell'orientamento e dell'ampiezza delle strade	59
L'impatto combinato dell'orientamento e dell'ampiezza delle strade sulla ventilazione urbana	62
Ventilazione e ambiente costruito	65
L'impatto del fenomeno del riscaldamento urbano notturno sul comfort umano e sull'uso dell'energia	68
La radiazione solare nelle aree urbane	69
Soleggiamento ed assetto del costruito	71
Forma del costruito	71
L'involucro solare (solar envelope)	73
L'accesso al sole	75
I tipi di strada	76

Strategie energetiche per gli edifici urbani	77
Il progetto del sito	78
L'organizzazione urbanistica per ottimizzare le condizioni microclimatiche	81
La forma dell'edificio	86
La scelta di un edificio conservativo (chiuso) o selettivo (aper- to)	86
Orientamento dell'edificio e progetto delle aperture	92
Organizzazione funzionale degli spazi interni (zone termiche) 95	
Strategie di conservazione dell'energia	96
Isolamento termico degli elementi esterni opachi	96
Aperture	99
Strategie di riscaldamento passivo	100
Strategia di riscaldamento	101
Strategie di raffrescamento passivo	105
Il controllo del surriscaldamento	106
Capacità termica	108
Raffrescamento naturale	114
Strategie di ventilazione	114
Strategie di illuminazione naturale	121
Linee guida	121
Bibliografia	126

Gli insediamenti bioclimatici

Gran parte delle ricerche sull'orientamento solare dell'architettura razionalista, ma anche quella sui sistemi solari passivi e sull'architettura bioclimatica appartengono alla posizione autoassertiva e per esse conta soprattutto l'oggetto edilizio intorno al quale rimane uno spazio urbano residuale; si trovano poi molti progetti nei quali lo spazio urbano diviene protagonista e residuale diventano gli edifici che con le loro facciate determinano l'architettura. L'orientamento degli edifici è dunque determinato dalla rete di strade e piazze della città ma elude le interazioni con l'ambiente (sole, clima, ecc.). Oggi, grazie alla molteplicità di tipologie sviluppate per i diversi orientamenti dalla progettazione bioclimatica e dalle conoscenze acquisite sulla climatizzazione naturale dello spazio urbano aperto, è possibile individuare soluzioni che prediligano l'integrazione tra orientamento basato sullo spazio urbano e orientamento riferito all'ambiente climatico. In tal senso possiamo individuare tre fasi del percorso evolutivo:

- quella degli edifici orientati verso il sole ma indifferenti allo spazio urbano;
- quella dello spazio urbano verso il quale si orientano gli edifici indifferentemente dal sole;
- quella infine dello spazio urbano orientato verso il sole nel quale gli edifici integrano orientamento solare e urbano.

Gli edifici orientati

Edifici orientati e spazio urbano come vuoto tra gli edifici, l'asse eliotermico e l'asse equisolare, sistemi solari passivi e progettazione bioclimatica

L'interesse prevalente degli architetti dei razionalisti, come di molti progettisti di sistemi solari passivi e bioclimatici si è focalizzato sulle tipologie edilizie che compongono il tessuto urbano, disposte secondo una griglia il cui orientamento è stato oggetto di molte discussioni. In

8 questo contesto la rete stradale è considerata solo come tessuto connettivo tra zone con diverse destinazioni d'uso, uno spazio residuale tra gli edifici. Ancor oggi i Piani Regolatori propongono interventi sia nuovi sia di riqualificazione secondo questi principi.

Le prime teorie sull'orientamento degli edifici basate su principi scientifici risalgono al primo decennio del '900 quando Rey, Barde e Pidoux hanno teorizzato il principio dell'*Asse eliotermico*, basato sulla unità eliotermica, definita dal prodotto della durata dell'insolazione e della temperatura ambiente. Ne è derivata una disposizione degli edifici secondo un asse nord-sud ruotato di 19 gradi verso est, in modo da equiparare i valori termici delle due facciate principali.

Gran parte dei progetti dei sistemi insediativi del primo razionalismo sono guidati dalle teorie che mettono in relazione tipologia edilizia, densità abitativa e orientamento. Le tecniche ed i metodi di progettazione sviluppati in questo ambito sono, dettati non da ragioni energetiche ma sociali, essendo il problema igienico dominante in quegli anni di urbanizzazione accelerata delle città industriali. Uno dei primi progetti basati su queste teorie è la "città industriale" di Tony Garnier alla quale seguirono molti altri progetti di nuovi insediamenti organizzati sulla base della geometria solare che confermano l'organizzazione degli edifici secondo l'asse eliotermico. Questa concezione costituisce la base dei teoremi di Heiligenthal e Gropius quando analizzano l'organizzazione dello spazio abitato ponendo in relazione orientamento, altezza e distanza fra gli edifici e cercano un modello matematico per esprimere tali relazioni.

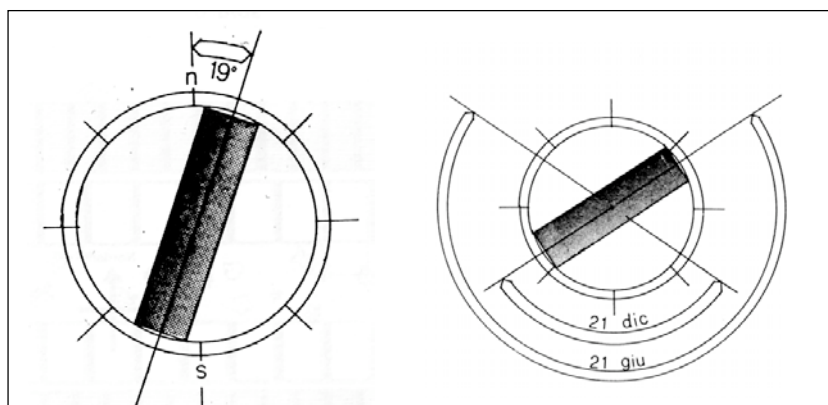


Figura 1. L'asse eliotermico a sinistra e l'asse equisolare a destra

Gropius (1930) studia sistematicamente l'occupazione del suolo in funzione del soleggiamento e conclude che gli edifici alti 10-12 piani consentono densità maggiori degli edifici medi e unifamiliari. Gli studi comparativi sono condotti sulla base di due condizioni: entrambe i fronti devono essere soleggiati per almeno due ore in corrispondenza del solstizio d'inverno; la distanza fra i blocchi orientati nord-sud deve essere 1.5 volte l'altezza, 2.5 volte nel caso di orientamento est-ovest. In questi risultati è già leggibile una prima definizione della tipologia alta e compatta, a conservazione di energia, con due affacci sui fronti est e ovest.

Anche nelle ricerche di Klein (1936) sull'abitazione si possono trovare molti progetti sviluppati in funzione della geometria solare; un suo disegno che mostra le ombre portate da un gruppo di edifici in varie ore del giorno e nelle diverse stagioni, rimanda alle analisi più recenti di simulazione al computer, per definire le sagome entro le quali deve restare il volume degli edifici progettati per rispettare il "diritto al sole".

Nell'ambito della cultura del Movimento Moderno, intorno agli anni '30, Le Corbusier teorizza l'abbandono della "rue corridor". La città-giardino verticale, la Ville Radieuse, come era accaduto per le Garden Cities, si confronta con l'immobile urbano tradizionale. Mentre questo impone un orientamento legato alla rete stradale, la strada divenuta sinuosa per velocità del traffico, con snodi attrezzati agli incroci e nelle immissioni, consente di orientare gli edifici esclusivamente in funzione

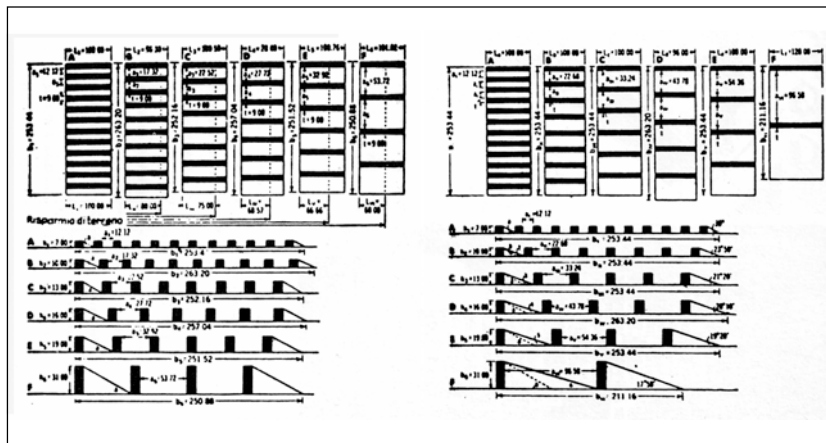


Figura 2. Gropius (1931): studi sul soleggiamento degli edifici in funzione dell'altezza degli edifici e della densità edilizia.

10 del sole in modo da fornire a tutti gli abitanti un equivalente numero di ore di sole.

Il sistema di spazi urbani pubblici, anch'esso dissociato dalla rete viaria, si dissolve e diviene uno spazio urbano alberato, salubre e ossigenato.

Bisogna arrivare agli anni '40, quando Hilbeseimer, in Germania, Vinaccia, Diatollevi e Marescotti in Italia, cercano una risposta articolata in grado di correlare orientamento e tipologia edilizia, densità abitativa e tessuto urbano. Vinaccia denuncia apertamente la scarsa attendibilità della *unità eliotermica* e mette a punto una nuova proposta: *l'orientamento equisolare*. Questa ha per scopo la perequazione del soleggiamento sulle quattro facciate: l'inclinazione dell'asse principale è assunta uguale all'azimut in corrispondenza del sorgere del sole al sol-

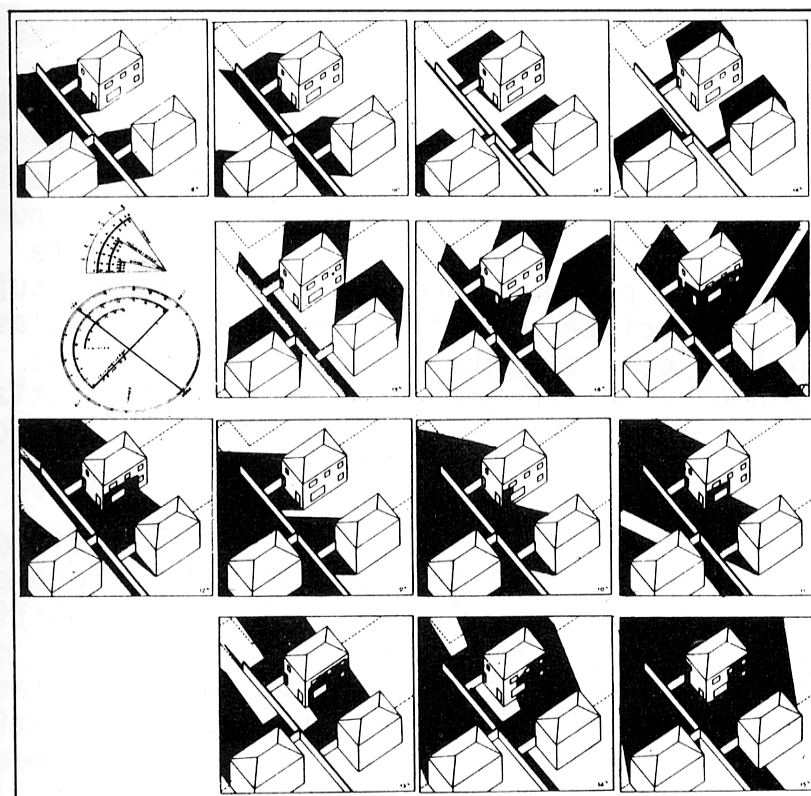


Figura 3. Klain (1936): studi sul soleggiamento degli edifici.

stizio estivo (tale azimut è allineato con quello del tramonto al solstizio invernale).

Diotallevi e Marescotti sulla base di analisi del soleggiamento elaborate con semplici tecniche grafiche identificano le qualità positive dell'orientamento che rivolge verso sud gli appartamenti e formulano una risposta articolata, correlando l'orientamento alla tipologia edilizia. per edifici a doppio affaccio l'orientamento ottimale segue l'asse nord-sud, per edifici a singolo affaccio l'asse ottimale è approssimativamente est-ovest. In quest'ultimo caso a nord vengono localizzati i locali di servizio. Una lieve inclinazione dell'asse consentirà poi un soleggiamento anche se poco rilevante della parete nord. Diotallevi e Marescotti negano qualsiasi validità all'asse eliotermico, lo giudicano particolarmente infelice per la parete ovest.

Anche L. Hilberseimer mette in relazione tipologia e orientamento per codificare dettagliatamente i due orientamenti. Nel caso di affaccio ad est e ad ovest gli alloggi funzionano a doppio corpo: la profondità è allora elevata, e i vani servizi sono interni. Nel caso di affaccio a nord e a sud gli alloggi funzionano a corpo semplice: la profondità risulta ridotta e a nord si trovano i servizi, la scala e' quasi completamente esterna.

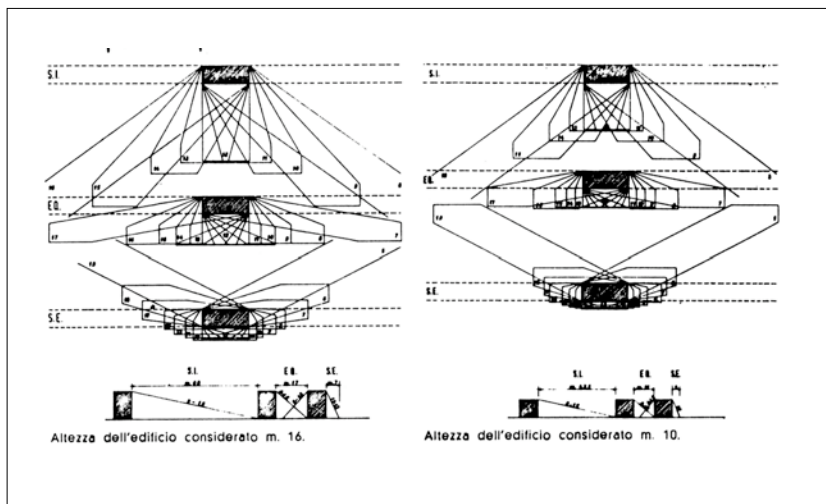


Figura 4. Studi sul soleggiamento degli edifici con il metodo Mattioni

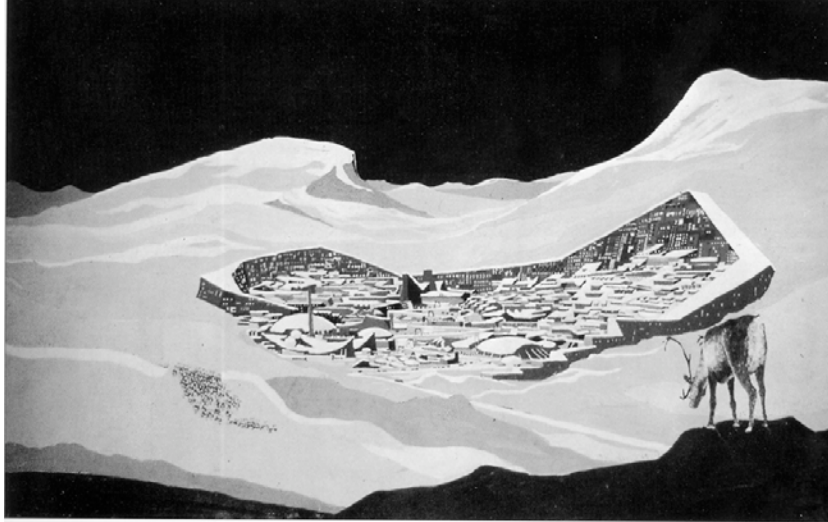


Figura 5. Erskine, città sub-artica di Svapavara

I sistemi solari passivi

I sistemi passivi rappresentano uno dei contributi più interessanti ai problemi posti dalla crisi energetica degli anni '70. Con questo termine, coniato solo nel 1976, si identifica una vera e propria corrente culturale che vede collaborare architetti, ingegneri e fisici. L'idea di sfruttare nel modo più ingegnoso la casa considerata come collettore solare ha pro-



Figura 6. Solar Village, Tombazis & Associates Architect, Atene, Grecia, 1978-1989

dotto molti sistemi di climatizzazione naturale assai efficienti. L'edificio però, rimane ancora il protagonista principale e gli insediamenti costruiti usando questi sistemi si differenziano da quelli del razionalismo solamente il per il diverso orientamento degli assi principali. Si

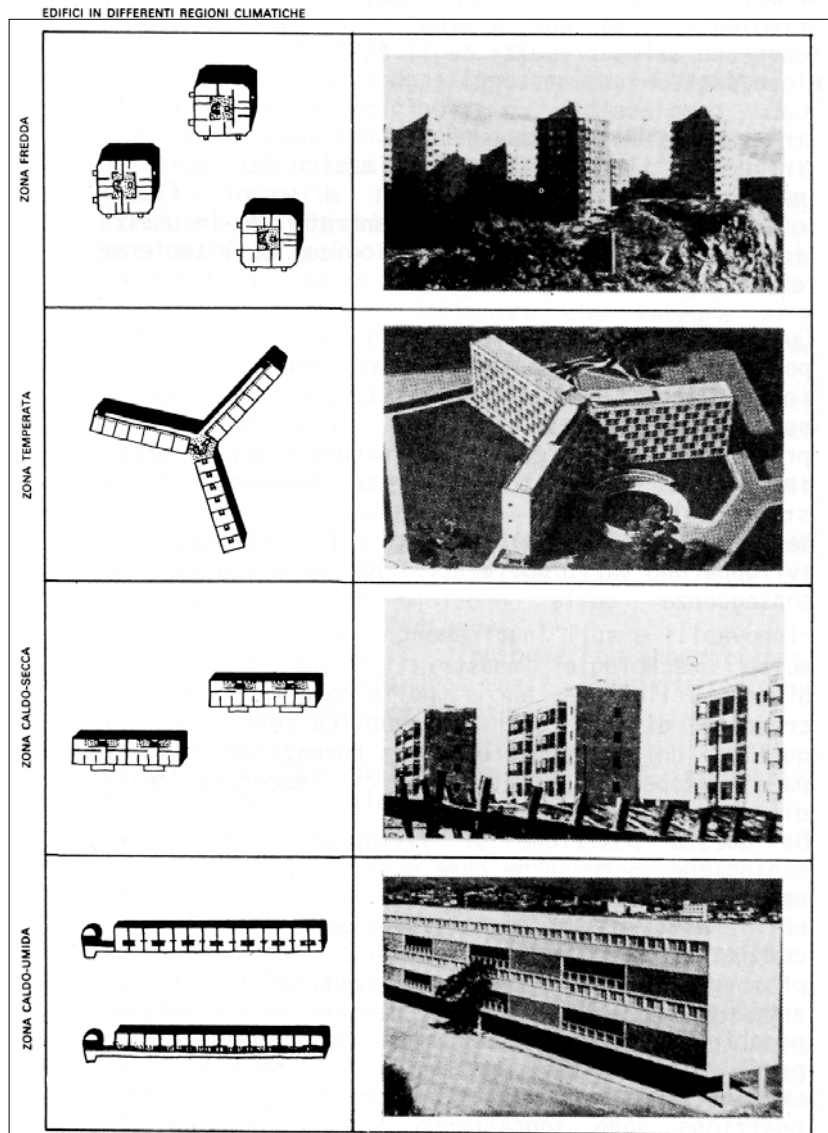


Figura 7. Olgyay (1962) studio di tipologie edilizie in differenti regioni climatiche

- 14 ragiona sempre in termini di edifici correttamente localizzati e orientati senza affrontare il problema dello spazio urbano nel suo insieme.

La progettazione bioclimatica

La diffusione dei sistemi solari passivi in molte diverse aree climatiche ne dimostra i limiti di applicabilità nelle aree troppo calde e in quelle molto fredde. Per le prime si affrontano problemi di raffrescamento passivo (l'aggettivo solare scompare dato che in queste aree il sole diventa uno svantaggio da evitare) per le altre si torna a scoprire i vantaggi della coibentazione magari accoppiata a collettori e impianti di riscaldamento in sistemi ibridi.

Si scopre comunque l'importanza del clima locale nel determinare il progetto. Le tecniche di progettazione si arricchiscono di un diagramma bioclimatico sviluppato da Olgay e Givoni e di molti altri strumenti da usare nell'analisi climatica del sito, di analisi economiche che consentono di ottimizzare, riferendolo alle caratteristiche del clima locale il rapporto tra applicazione delle tecnologie di captazione e di conservazione nel progetto dell'edificio.

Questa posizione che tende a superare le precedenti finalizzate solo al risparmio di energia tradizionale, implica molte interessanti conseguenze. L'importanza del sito, il coinvolgimento dell'intero edificio e il riferimento biologico, collegano questa posizione con le discussioni che



Figura 8. R. Ranier(1962) Puchenau Garden City, Linz, Austria.

animano la cultura architettonica attuale.

La successiva evoluzione estende la progettazione bioclimatica a varie tipologie edilizie e alla scala microurbana.

L'interesse rivolto agli edifici multipiano per la residenza e gli uffici aggiunge al problema della climatizzazione (riscaldamento e raffreddamento) quello dell'illuminazione naturale. Negli edifici per uffici il consumo energetico per illuminare quasi equivale a quello per il riscaldamento e all'energia di raffreddamento.

La distribuzione differenziata delle finestre, influenzata dalla captazione solare, implica un controllo dell'illuminazione naturale per evitare luce insufficiente ed eccessiva nei vari ambienti.

Se le posizioni già indicate erano orientate soprattutto a ridurre la quantità di petrolio consumato nella climatizzazione ambientale degli edifici, con questa posizione viene perseguita la qualità ambientale.

L'interesse per queste problematiche promuove molti studi sulle con-

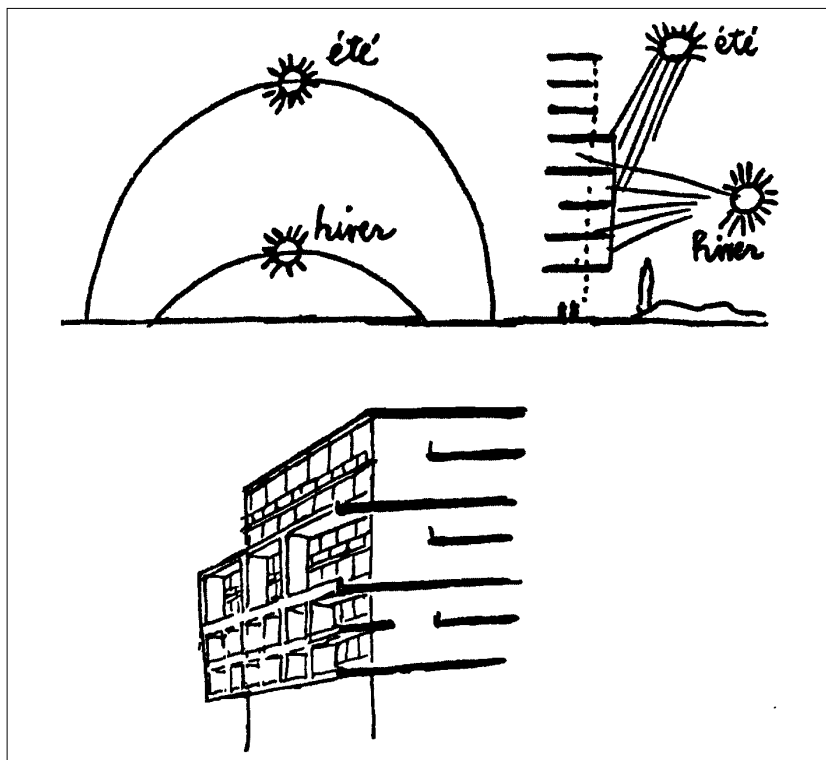


Figura 9. Le Corbusier

16 dizioni di benessere, mentre la cultura della progettazione ambientale, considerando riduttiva la sola qualità estetica attribuita agli edifici, mette in luce la complessità dell'esperienza architettonica che integra alla qualità visiva quella tattile, climatica, acustica, cinestetica.

A scala microurbana si considera il problema del diritto al sole e si elaborano strumenti per predisporre normative tecniche da applicare nella pianificazione urbanistica e manuali per assistere i progettisti nell'applicazione di tali strumenti. Da questa posizione emergono edifici di varie tipologie con progetti più complessi che combinano varie tecniche: solari passive, bioclimatiche e tradizionali: oltre a piani a scala microurbana e i sistemi insediativi energeticamente razionali.

Le tecniche di progettazione che vengono sviluppate riguardano programmi di calcolo per simulare la integrazione tra diverse tecnologie in sistemi ibridi, e più articolate analisi economiche che consentono studi comparativi sulla efficienza relativa di varie soluzioni progettuali. Altre tecniche interessano analisi della influenza del sole e del vento su aggregazioni di edifici caratteristiche dei sistemi insediativi a scala microurbana.

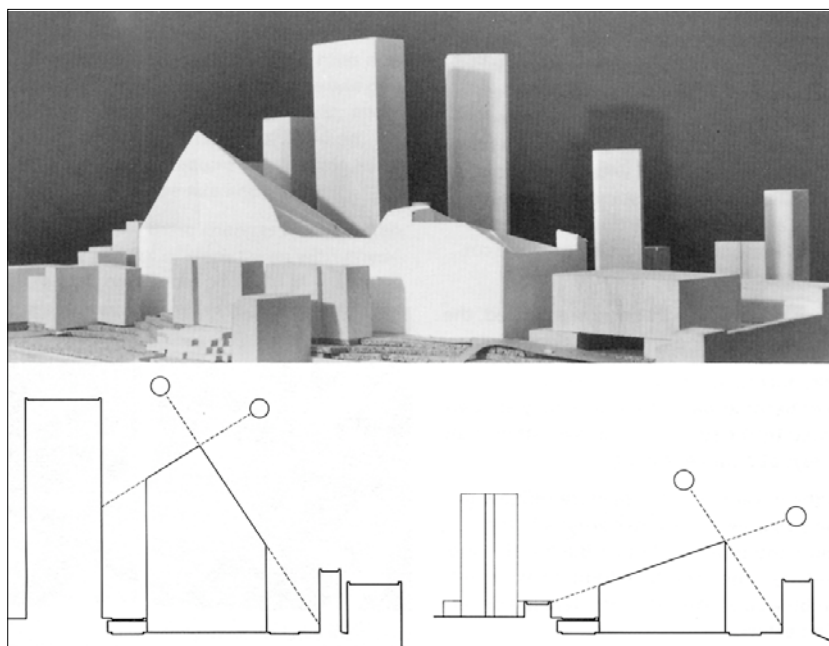


Figura 10. R. Knowels, "solar envelope" per lo studio del rispetto del diritto al sole.

L'impegno per una progettazione ecologicamente responsabile non è nuova nell'ambito della architettura solare anche se le priorità imposte dalla crisi energetica ne avevano diminuito l'importanza.

Se nello stile internazionale l'edificio non aveva ambiente e le prime fasi di evoluzione di questa nuova consapevolezza ambientale danno un ambiente all'edificio isolato prima e poi anche ad aggregazioni urbane di edifici (anche se i dati con i quali tale ambiente viene descritto non distinguono i microclimi locali), in seguito viene considerato il controllo del clima nelle strade e piazze della rete di spazi pubblici urbani. Si comprende a questo punto che gli edifici influenzano con la loro presenza il clima dello spazio interposto, determinandone quindi l'abitabilità in rapporto alle prestazioni richieste, ma che a sua volta questo spazio corretto dalla presenza degli edifici influenza il loro stesso funzionamento energetico.

La complessità e reciprocità di queste interazioni fa comprendere che non solo l'ambiente influenza il comportamento climatico dell'edificio ma che anche l'edificio con i suoi flussi energetici e materiali in entrata e in uscita influenza il funzionamento ecologico dell'ambiente circostante. Questo impatto ambientale degli edifici è stato poco studiato e dunque finora non ha molto influenzato i progettisti.

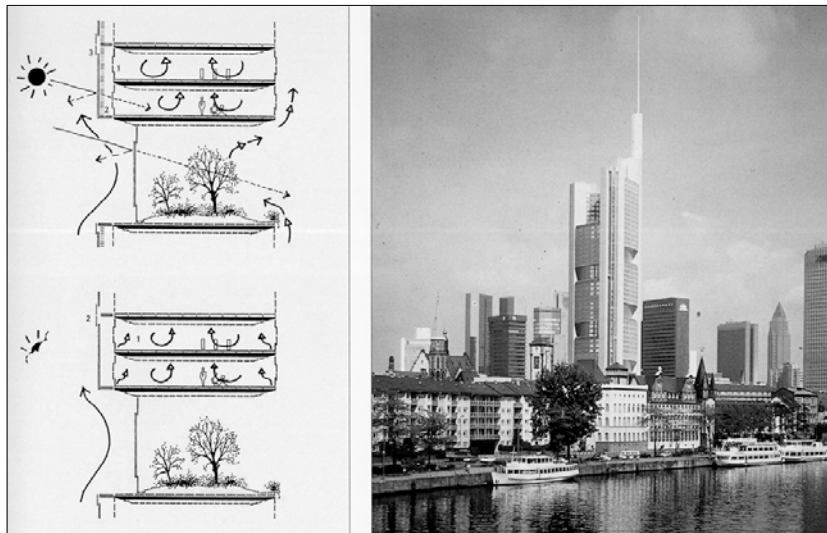


Figura 11. N. Foster, Commerzbank, Francoforte.

18 Negli anni sessanta con la crisi ambientale si svilupparono vari movimenti che denunciavano le conseguenze sulla erosione delle risorse non rinnovabili e sull'inquinamento dell'ambiente, di molte tecnologie industriali. Questo problema divenne rilevante anche politicamente con la crescita di una opinione pubblica sensibile alla qualità dell'ambiente e con la formazione in molti paesi europei di partiti politici impegnati nella difesa dell'ambiente naturale.

Le tecniche progettuali proposte da questa posizione sono soprattutto interdisciplinari e derivano dalla cultura dell'ecologia, sono strumenti di analisi dell'impatto ambientale e modelli sistemici del funzionamento delle strutture insediative proposte per simulare il bilancio globale del complesso di flussi energetici e materiali che le caratterizzano.

Molto resta ancora da fare su questa posizione che risulta tuttora aperta a varie potenziali evoluzioni.

Lo spazio pubblico

L'architettura delle città e la ricostruzione dello spazio urbano

Solo nel secondo dopoguerra l'interesse per lo spazio pubblico urbano, inteso come supporto fisico per le interazioni sociali, diventa il contenuto essenziale delle esperienze progettuali più importanti. Il sistema reticolare dell'ambiente urbano rappresenta il tema di progettazione comune a molti architetti, ma con questo viene rimosso il problema dell'orientazione, considerato per i vincoli che impone una delle cause di dissoluzione del sistema integrato di spazi pubblici urbani.

Esempi di questa nuova prospettiva ambientale, rispetto alla precedente centrata sull'oggetto edilizio, sono le proposte degli Smithson per le strade - ballatoio nel Golden Lane; il piano di Kahn per il centro di Filadelfia; lo schema delle sette vie di Le Corbusier; le ricerche sul problema del Townscape e gli studi sulla percezione dell'ambiente urbano di Lynch.

Negli anni seguenti queste esperienze sviluppano una analisi sempre più sistematica dei meccanismi di crescita della città, al fine di entrare con le nuove parti di città in questi processi, piuttosto che aggiungere nuove parti o sostituire parti del tessuto esistente; di proporre impianti urbani complessi capaci di sostenere la dinamica della città nella sua formazione e nel suo funzionamento. Si possono identificare quindi

due direzioni di ricerca progettuale la prima che mette in relazione la tipologia edilizia e la morfologia urbana e che tende ad integrare nel progetto scala edilizia e scala urbana; la seconda che riprende il progressismo tecnologico della città macchina, cara a futuristi e costruttivisti, proponendo megastrutture come quelle dei di Archigram.

Da una parte l'unilaterale importanza attribuita all'ambiente urbano storico, con i suoi riferimenti nonumentali, dall'altra la sopravvalutazione delle potenzialità dell'impianto, provocano una rimozione dei problemi posti dalle caratteristiche dell'ambiente climatico, sia per ridurre i consumi di una energia divenuta assai difficile, che per migliorare la qualità dello spazio abitato.

Lo spazio pubblico orientato

Lo spazio urbano orientato e l'architettura del regionalismo critico

La cultura urbanistica più diffusa considera quasi sempre la rete delle strade solo come tessuto connettivo fra edifici o come vuoto fra zone con diverse destinazione d'uso. E' spostando l'attenzione proprio sul

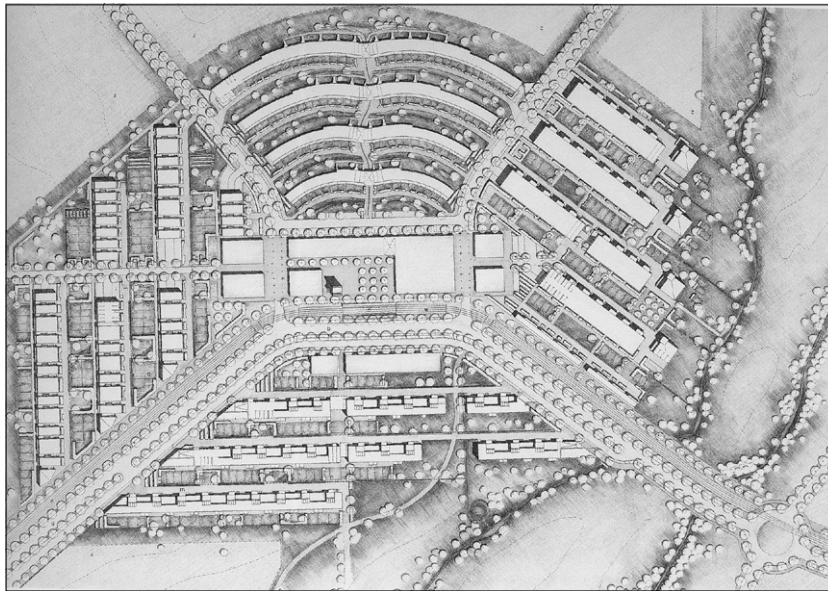


Figura 12. Foster, Herzog, Rogers Solar City, Linz-Pichling, Austria, 1995.

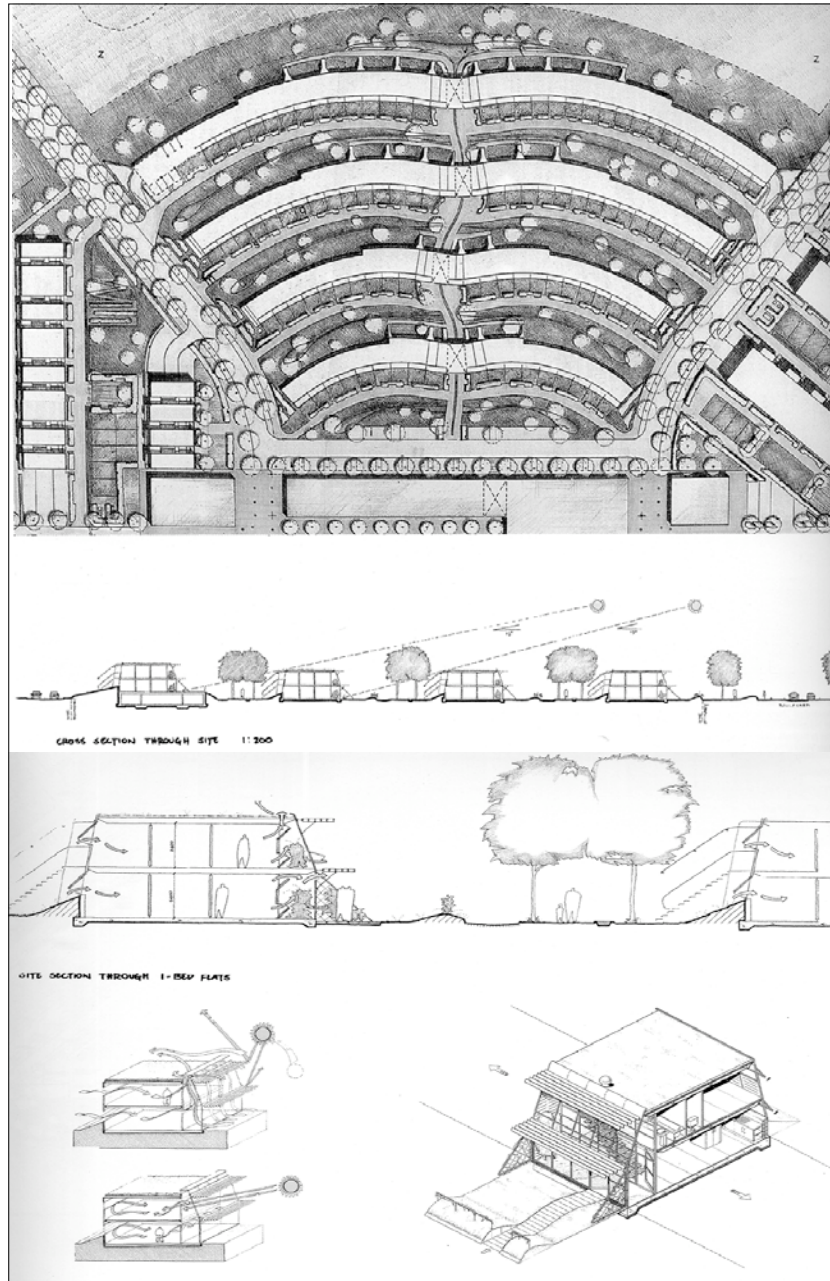


Figura 13. Foster, Herzog, Rogers Solar City, Linz-Pichling, Austria, 1995
differenti tipologie in funzione dello spazio orientato e dell'esposizione.

suo significato di spazio comune, spazio di interazione sociale, che possiamo recuperare molti dei valori ambientali che sono andati perduti.

Le diverse interpretazioni che sono state date al rapporto fra edificio e spazio esterno passano dalla totale identificazione dello spazio aperto con la rete stradale (come nell'Ottocento) alla totale indifferenza reciproca fino ad arrivare ad una concezione della città come ecosistema; secondo quest'ultima posizione, l'integrazione fra ambiente naturale e ambiente costruito rappresenta il problema centrale della pianificazione urbana. La città in questo contesto è in grado di determinare trasformandolo, l'ambiente fisico, biologico, le condizioni climatiche e quelle acustiche e visive, l'aria che respiriamo e il paesaggio artificiale del nostro habitat.

Ancor oggi il processo di progettazione urbana si limita, nella migliore delle ipotesi, alla composizione architettonica e non presta particolare attenzione agli spazi esterni per i quali qualsiasi controllo di qualità può avvenire soltanto a posteriori. Ecco allora manifestarsi l'opportunità di una progettazione specifica degli spazi esterni e della messa a punto di un insieme di strumenti che ne consentano un controllo di qualità al momento della definizione di piano, così come avviene già, almeno in parte, per le strutture edilizie o per la climatizzazione degli edifici.

Se pensiamo a una città, a qualsiasi città, essa è sempre strutturata in modo da avere tanti spazi privati e un unico, continuo, spazio pubblico, che rappresenta quel dominio che chiunque può percorrere per andare in qualsiasi posto a qualunque ora del giorno e della notte, incontrare altre persone e girare liberamente senza limitazioni territoriali: lo spazio di tutti quindi, lo spazio pubblico o spazio comune.

Il variare del rapporto fra gli spazi privati e lo spazio pubblico modifica la configurazione urbana.

L'esposizione dei fronti principali a nord e a sud consente bilanci termici di notevole interesse purché si rispettino determinate condizioni:

- controllo del regime di ombre portate con un angolo di ostruzione non superiore a 20 gradi;
- differenziazione dei locali che si affacciano sui due fronti;
- differenti prestazioni delle due facciate quanto a massa, isolamento, superfici trasparenti.

In altre parole, l'orientamento risulta sempre più connesso e con l'as-

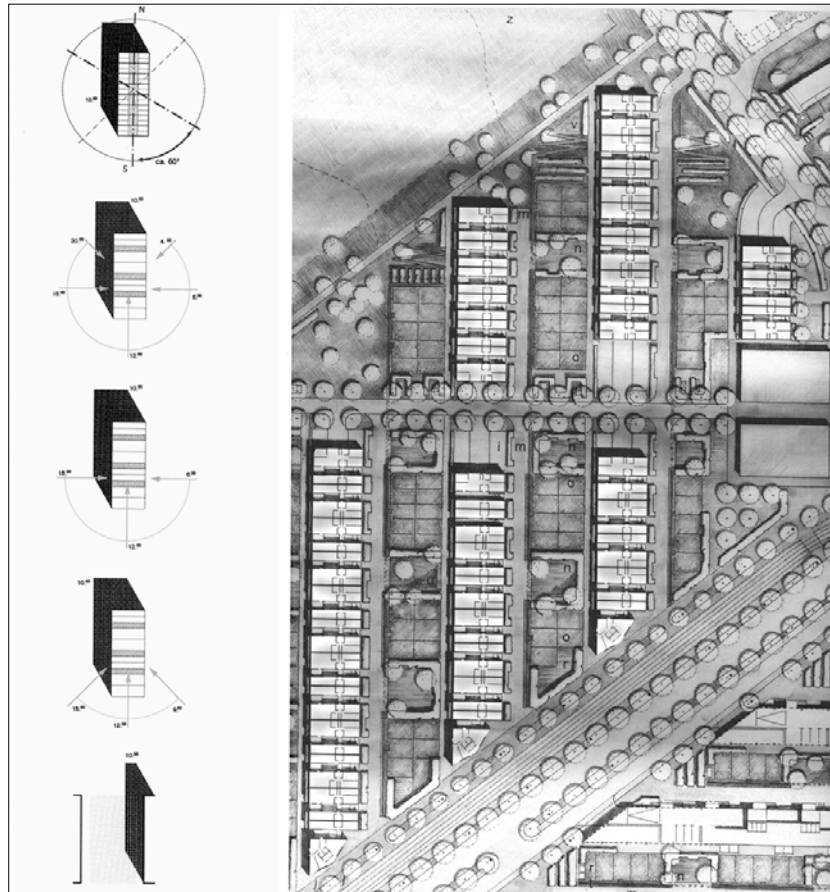
Capitolo I

22 setto urbanistico e con la distribuzione interna dell'alloggio.

Sorge a questo punto la necessità di strumenti che consentano l'interpretazione degli spazi scoperti con la stessa chiave di lettura degli spazi costruiti.

L'individuazione di categorie spaziali intermedie fra la scala dell'edificio e quella dell'insediamento consente non solo una mediazione fra esterno e interno, fra pubblico e privato, ma anche una riduzione dei consumi energetici nel caso in cui tali categorie spaziali siano chiuse da vetrate e pertanto climatizzate con accorgimenti di tipo "passivo".

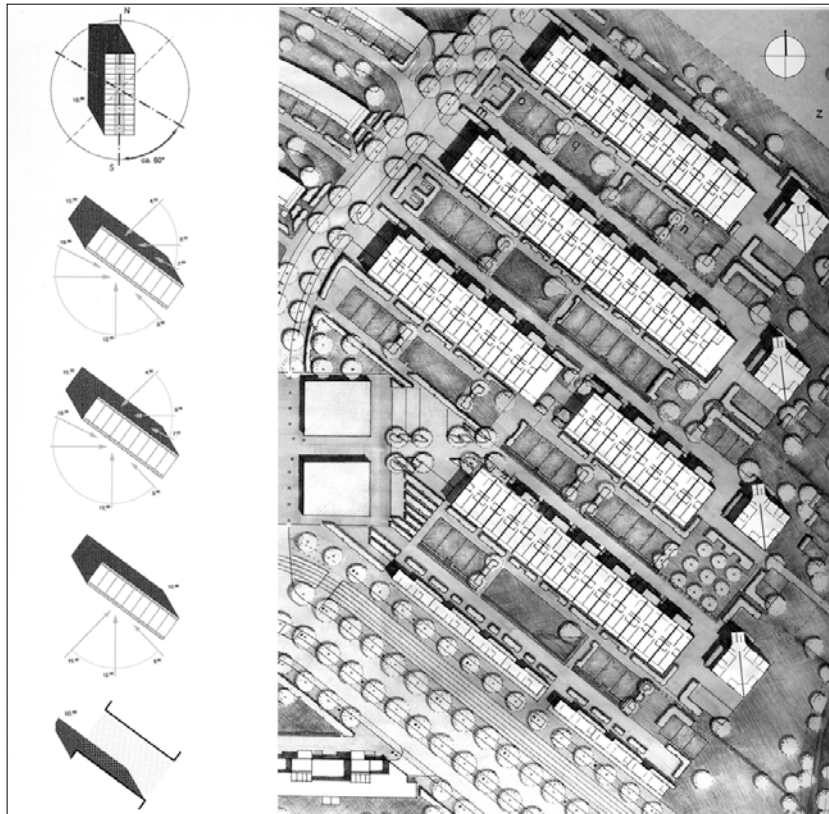
A livello dell'insediamento intervengono fattori climatici a scala urbana (controllo della ventosità, selezione della radiazione solare) connessi a scelte di piano (distanze tra gli edifici in rapporto ai tipi di tessu-



to, densità di popolazione). Il fattore orientamento è forse il più caratteristico in tale ambito, senza dubbio il più dibattuto.

L'orientamento interferisce tanto con la ventosità ed altre manifestazioni climatiche, quanto con le scelte di tessuto abitativo e relative densità. L'orientamento interessa sia il tracciato stradale sia l'edificato. Ne consegue per esempio una forte differenziazione degli schemi tipologici ad edifici a schiera che, sviluppandosi lungo i lati della strada devono essere asimmetrici rispetto al suo asse. Questo tipo di atteggiamento porta a considerare l'insediamento secondo delle fasce energeticamente differenziate, che influenzano sia lo spazio pubblico esterno, che lo spazio privato interno, determinando situazioni di asimmetria.

Ad esempio in un sistema insediativo costituito da due schiere di



*Figura 14,15. Foster, Herzog, Rogers Solar City, Linz-Pichling, Austria, 1995
differenti tipologie in funzione dello spazio orientato e dell'esposizione.*

24 case affacciate da un lato su un comune spazio pubblico centrale e dall'altro lato verso degli spazi privati, l'orientamento a sud della facciata determina delle situazioni di asimmetria sia nei rapporti tra edifici e spazio pubblico sia all'interno degli edifici stessi.

Se facciamo riferimento alla radiazione solare, cioè all'orientamento a sud, gli edifici devono essere asimmetrici rispetto allo spazio pubblico: infatti le facciate sud delle due schiere risultano una rivolta verso lo spazio privato, e quindi con la possibilità di utilizzare delle serre, delle verande, mentre l'altra è rivolta verso lo spazio pubblico, e richiede perciò altre soluzioni che non interferiscano nei rapporti tra spazio interno dell'edificio e spazio pubblico.

Per quanto riguarda quest'ultimo, si vedono zone più ombreggiate, altre più soleggiate che possono essere utilizzate in modo diverso nelle varie stagioni. Anche la distribuzione interna dell'alloggio è influenzata dall'ambiente esterno, al fine di sfruttare al massimo l'energia della radiazione solare, con zone direttamente influenzate dal sole, zone interne, e zone esposte a nord, che dovranno invece proteggere dal freddo o realizzare una ventilazione opportuna. Dovranno essere tenuti presenti anche i rapporti tra gli edifici in ordine all'ostruzione reciproca della radiazione solare. L'ostruzione con ombre portate costituisce infatti un duplice danno per l'edificio che la subisce: viene tolta una fonte energetica e si rende necessario l'impiego di un impianto sostitutivo.

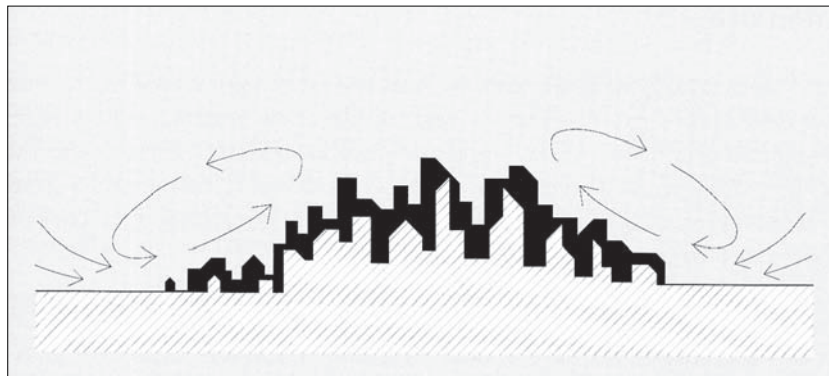


Figura 16. Movimenti d'aria intorno alla città.

Clima urbano

La maggiore differenza tra il clima urbano e quello della campagna circostante che influisce sul nostro comfort, consiste nella temperatura dell'aria e nella velocità del vento in prossimità del livello stradale. Questa differenza dipende dalle differenze del bilancio termico radiativo dell'ambiente urbano; lo scambio termico convettivo tra il suolo e gli edifici, il flusso d'aria che lambisce questi e il calore endogeno prodotto dalla città stessa.

La crosta urbana immette nei strati bassi dell'atmosfera, una quantità di fumi e di materiali inquinanti sospesi che modificando radicalmente lo spettro radiativo filtrano l'energia raggiante variandola sia quantitativamente sia qualitativamente. L'energia che comunque arriva sulla superficie costruita viene rapidamente trasformata in energia termica a bassa temperatura dal costruito (asfalto, tetti in laterizi, coperture piane lastricate, pareti verticali) e in parte viene riflessa nell'infrarosso ¹.

La superficie costruita trasforma l'energia radiante in calore sensibile con un processo termodinamicamente grezzo, mentre la superficie vegetale trasforma l'energia radiante in materia con un ciclo fotochimico quanto mai sofisticato. Studiando la crosta urbana e l'interrelazione con l'energia radiante si devono tenere presenti le ombre portate e proprie che interagiscono con la dinamica di trasformazione e conversione, i coefficienti di assorbimento dei diversi materiali, le masse, le differenze di temperatura determinate dagli stessi edifici.

Si può considerare il tessuto della struttura di una città analogo ad una calotta di chiome di alberi, dove la radiazione solare viene gradualmente assorbita e dove si creano specifiche condizioni di temperatura e umidità, distinte da quelle prevalenti nello spazio circostante; per cui lo spazio nel quale sono inseriti gli edifici sino al livello delle coperture può considerarsi come una sorta di "calotta urbana". Ma, in funzione

¹ Bisogna, infatti, tenere presente che mentre una superficie coltivata restituisce l'energia che riceve dal sole secondo cicli biochimici e biologici complessi e in archi di tempo relativamente lunghi (un prato trasforma in erba l'energia solare con un ciclo di 60 ore circa, un bosco con cicli di parecchi mesi trasforma in legno l'energia solare con procedimenti di fotosintesi), una superficie in cemento armato degrada l'energia radiante in arrivo con ciclo termodinamico di pochi minuti.

26 della dimensione delle città, le caratteristiche specifiche dell'aria si estendono anche oltre il livello dei tetti degli edifici. Il volume d'aria condizionata dalla città è considerato come lo strato di confine urbano e viene anche definito come la "cupola d'aria urbana".

Le condizioni climatiche specifiche di ogni punto all'interno della calotta sono influenzate da quelle dell'immediato intorno. In particolare, il materiale, la geometria e le proprietà della superficie delle strutture proprie di un dato luogo, modificano il microclima locale. Per questo motivo le condizioni microclimatiche all'interno della calotta urbana possono variare da un punto ad un altro. Anche ai limiti superiori della calotta le condizioni variano, seppure in maniera più omogenea, da un punto all'altro in funzione delle differenti altezze degli edifici. Il vento, inoltre, influisce sensibilmente sullo strato superiore della calotta urbana. Venti forti, infatti, potendo penetrare più in profondità, al di sotto della quota dei tetti, rispetto a venti più deboli, riducono l'altezza effettiva della calotta.

D'altro canto, comfort umano e flussi energetici degli edifici sono determinati dalle condizioni climatiche localizzate al disotto della calotta urbana, dove in un dato luogo si realizzano condizioni anche sensibilmente differenti rispetto a quelle esistenti in altri luoghi, anche se

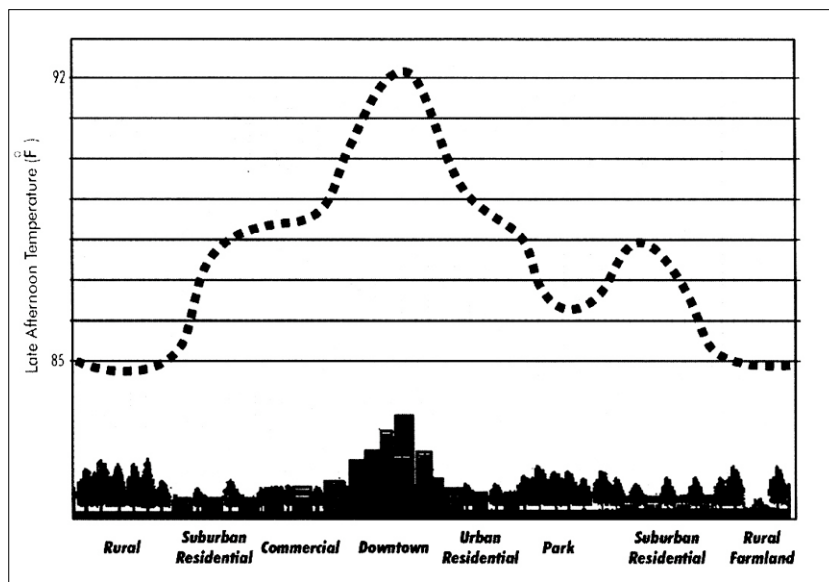


Figura 17. Shema del profilo dell'isoladi calore urbana.

relativamente vicini, ed a quelle prevalenti al di sopra della cupola urbana. 27

Il fenomeno dell'isola dei calore

Come abbiamo precedentemente affermato, generalmente l'aria di una città densamente costruita è più calda di quella propria dell'intorno rurale. Il calore assorbito durante il giorno dagli edifici, dalle strade e da altre costruzioni dell'area urbana viene ri-emesso dopo il tramonto, creando alte differenze di temperatura tra le aree urbane e quelle rurali

I maggiori innalzamenti di temperatura si hanno durante le notti con il cielo sgombro di nubi, spesso con aumenti di temperatura di circa 3-5°C, che a volte possono raggiungere anche gli 8-10°C. Questo innalzamento notturno della temperatura dell'aria della città rispetto a quella delle zone rurali limitrofe è comunemente definito come "isola urbana di calore" e la massima differenza città-campagna è definita come "intensità dell'isola di calore".

Durante il giorno, la differenza della temperatura tra il centro della città e la campagna circostante è generalmente di molto inferiore, circa 1-2°C, con differenze che diventano insignificanti in presenza di vento. Poiché la differenza di temperatura è maggiore durante la notte, "l'isola di calore" convenzionale è essenzialmente un fenomeno notturno.

Le differenze tra la temperatura rurale e quella urbana sono determinate da due tipi di fattori. Per primo, queste sono correlate alle condizioni meteorologiche come la copertura nuvolosa, umidità, e velocità del vento. In secondo luogo, differenti configurazioni della struttura urbana, come la dimensione della città, la densità edilizia ed il rapporto tra l'altezza degli edifici e la distanza tra questi hanno un forte effetto sulla grandezza del fenomeno isola di calore. Ma, tanto per complicare le cose, certe caratteristiche della città, come la larghezza delle strade e il materiale con cui sono realizzati gli edifici possono avere effetti opposti perfino nella direzione della differenza di temperatura città-campagna ².

² È da notare che quasi tutte le verifiche, tra il centro urbano e gli spazi aperti circostanti, in riferimento alle temperature durante il giorno, sono state fatte in clima temperato ed in città circondate da campagne coltivate. La situazione può essere decisamente diversa in città nel deserto, circondate da terre aride prive di vegetazione.

28 I confini dell'isola di calore seguono la calotta urbana d'aria. Il gradiente orizzontale della temperatura cresce dalla periferia verso il centro urbano, specialmente durante la notte, e si appiattisce in corrispondenza del centro della zona costruita. In presenza di vento leggero l'isola di calore si estende oltre i limiti dell'area edificata. L'altezza dell'isola di calore è alquanto schiacciata, estendendosi in alto di circa da tre a cinque volte l'altezza media degli edifici e coincide approssimativamente con la calotta urbana d'aria. Oltre questa quota la differenza tra la "temperatura urbana" e quella esterna, alla stessa quota è veramente modesta.

A volte, durante una notte calma con notevoli eccessi di temperatura, una leggera brezza, chiamata "brezza di campagna" – dovuta alla formazione di un'area di bassa pressione attraverso la città – soffia dall'area rurale a quella urbana. Questo vento può trasportare in città molti inquinanti se ci sono grandi industrie nella campagna circostante.

Così si crea un limite di confine urbano (UBL: Urban Boundary Layer) nell'atmosfera più bassa sopra l'area urbana, con caratteristiche micrometeorologiche determinate dalla città. Durante il giorno, l'UBL aumenta di profondità, come risultato del calore della città, e raggiunge altezze che sono circa il 25% più grandi dell'altezza media sopra le aree rurali.

L'inquinamento influenza il clima della città. Le particelle riflettono la radiazione solare, portando ad un incremento dell'energia solare che raggiunge le superfici. Alcune particelle fungono anche da nuclei sui quali si condensa il vapore acqueo, anche con un umidità relativa del 70%, formando foschia e incrementando la nebbia urbana. Le precipi-

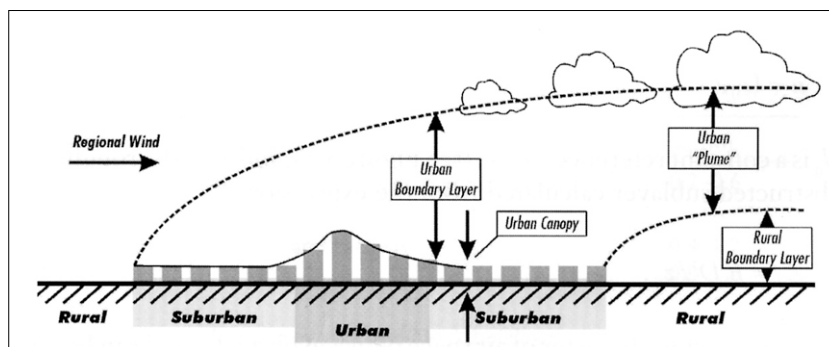


Figura 18. Gli elementi componenti il fenomeno dell'isola di calore urbano

tazioni e gli annuolamenti possono essere maggiori nelle grandi città che nelle aree rurali. Questo è dovuto ai nuclei aggregati e all'eccesso di calore che riduce la stabilità dell'aria e potenzia i movimenti verticali dell'aria. Quindi, in un'area urbana, ci dobbiamo aspettare di avere livelli più alti di inquinamento, più alti valori di temperatura, più precipitazioni, annuolamenti e frequenza di nebbia e valori più bassi dell'energia solare che raggiunge le superfici, dell'umidità relativa, della velocità del vento e della visibilità, rispetto ad un'area rurale.

Le città influenzando anche il clima delle aree che sono sottovento rispetto ad esse. La piovosità annuale, in tali aree, è incrementata per effetto del trasporto delle particelle e del vapore emessi dalle industrie in prossimità di quest'area.

Esistono diversi differenti ed indipendenti fattori che influiscono sulla temperatura urbana, specialmente in prossimità del suolo, e che contribuiscono alla formazione dell'isola di calore; fenomeno caratterizzato da un'importante variazione spaziale e temporale legata al clima, alla topografia, al contesto fisico ed alle condizioni del tempo:

- le differenze nel bilancio netto radiativo complessivo tra l'area urbana e la campagna circostante ³;
- la geometria radiante del canyon ⁴ diminuisce l'albedo effettivo del sistema a causa delle riflessioni multiple della radiazione ad onda corta da parte delle superfici del canyon;
- l'accumulo dell'energia solare nella massa degli edifici in città durante il giorno e suo rilascio nelle ore notturne ⁵;

³ Mentre la radiazione netta vicino al suolo, in città, può essere inferiore a quella degli spazi aperti circostanti, la radiazione notturna costituisce il maggior fattore che contribuisce alle maggiori temperature urbane.

⁴ Oke (1981) introdusse il termine "Urban Canyon" e presentò analisi quantitative dettagliate del suo bilancio energetico e dei risultati sulla misurazione relativa ad un canyon urbano a Vancouver, Columbia Britannica, con un rapporto H/W di circa 0,9. In questo studio, si constatò che circa il 60% del guadagno solare di mezzogiorno si traduceva in riscaldamento sensibile dell'aria contenuta nel volume del canyon, circa il 30% veniva conservato dai materiali dell'involucro del canyon, e circa il 10% veniva disperso tramite l'evaporazione delle superfici del canyon.

⁵ La geometria radiante del canyon, contribuisce a far decrescere la perdita della radiazione ad onda lunga dai canyon delle strade per effetto del complesso scambio tra gli edifici e le schermature del cielo. Le radiazioni infrarosse sono emesse dalle varie superfici degli edifici e delle strade dei canyon. Gli edifici sostituiscono una frazione dell'emisfero freddo del cielo con superfici più calde, che ricevono un'alta porzione delle radiazioni infrarosse emesse dal suolo, riflettendone in quantità sempre maggiore.

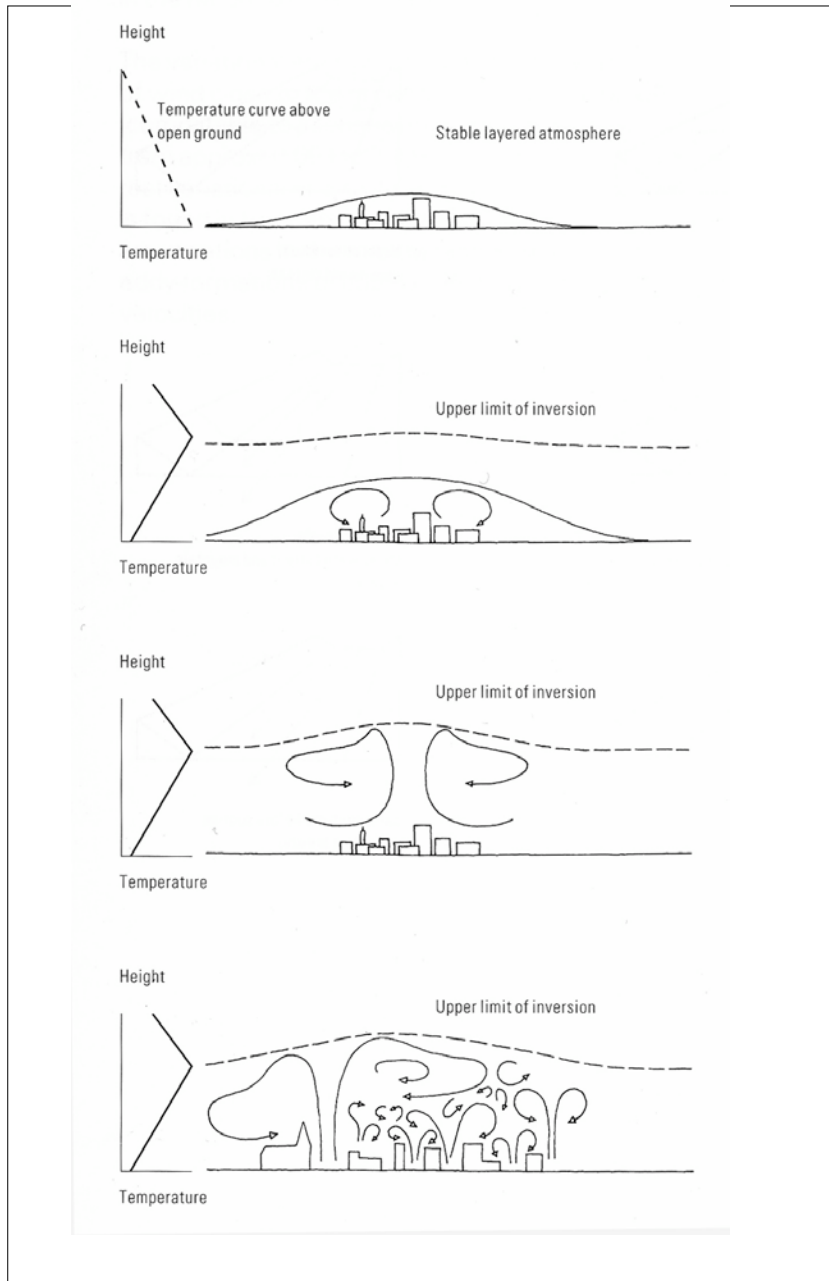


Figura 19. Fenomeno dell'inversione termica sopra l'area urbana.

- le proprietà termiche dei materiali possono far incrementare la conservazione del calore sensibile nell'edificato della città durante il giorno e il rilascio verso l'atmosfera urbana dello stesso calore dopo il tramonto. Inoltre, la sostituzione del suolo naturale o della vegetazione con i materiali, quali il cemento o l'asfalto, usati per le città, riduce la possibilità di far decrescere la temperatura dell'ambiente attraverso l'evaporazione e la traspirazione;
- la concentrazione di generazione di calore dalle attività nell'area urbana durante tutto l'anno (trasporti, industrie, ecc.);
- la minor evaporazione dal suolo e dalla vegetazione nelle aree urbane rispetto alla campagna;
- le fonti di calore stagionale: riscaldamento degli edifici in inverno e condizionamento in estate; tutta l'energia per il riscaldamento ed il condizionamento estivo viene rilasciata nell'aria della città;
- l'effetto serra urbano contribuisce all'incremento delle radiazioni ad onda lunga provenienti dall'atmosfera urbana inquinata. Questa ulteriore immissione radiante nella città ne riduce le perdite radiative;
- la riduzione delle superfici evaporanti nella città comporta un maggior accumulo di energia come calore sensibile e meno come calo-

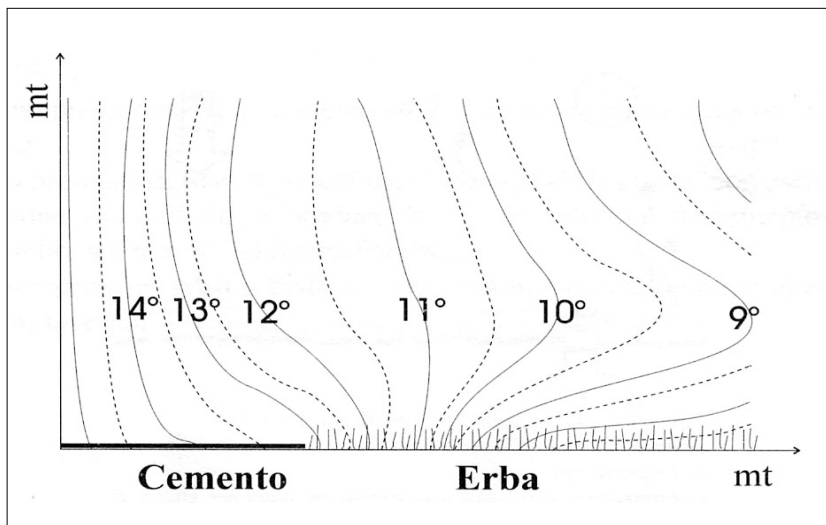


Figura 20. Andamento della temperatura su una superficie artificiale e su manto erboso. La temperatura dell'aria e quella radiante sono ridotte dall'erba che oltre a determinare un effetto evaporativo, assorbe energia necessaria al processo di fotosintesi.

- 32 re latente;
 — il ridotto scambio termico per moto turbolento che si innesca nelle strade.

Le temperature urbane più alte hanno un serio impatto sulla domanda di elettricità per l'aria condizionata degli edifici e incrementano la produzione di smog, al contempo contribuendo all'emissione degli inquinanti derivanti dagli impianti, includenti biossido di zolfo, monossido di carbonio, protossido d'azoto e particelle sospese.

Riguardo alla variazione della temperatura dell'ambiente ad una certa distanza tra area rurale e centro urbano, è noto che per una grande città, con un cielo nuvoloso e venti leggeri dopo il tramonto, il limite tra l'area rurale e quella urbana mostra un significativo incremento del gradiente termico verso l'isola di calore urbano, e perciò il resto dell'area urbana appare come un "plateau" caratterizzato da un gradiente termico con un debole incremento caratterizzato da un picco in corrispondenza del centro della città, dove si manifesta la temperatura urbana massima. In ogni modo, si deve puntualizzare che gli aspetti dell'isola di calore sono sicuramente determinati dalle specifiche caratteristiche di ogni città. La differenza tra la temperatura urbana massima e la temperatura rurale è definita come l'*intensità dell'isola di calore* urbana.

Nei climi freddi, l'innalzamento della temperatura urbana ha un effetto positivo dal punto di vista del comfort dei residenti e del consumo energetico per il riscaldamento. Nei climi caldi, al contrario, l'innalzamento della temperatura genera ulteriormente condizioni di discomfort

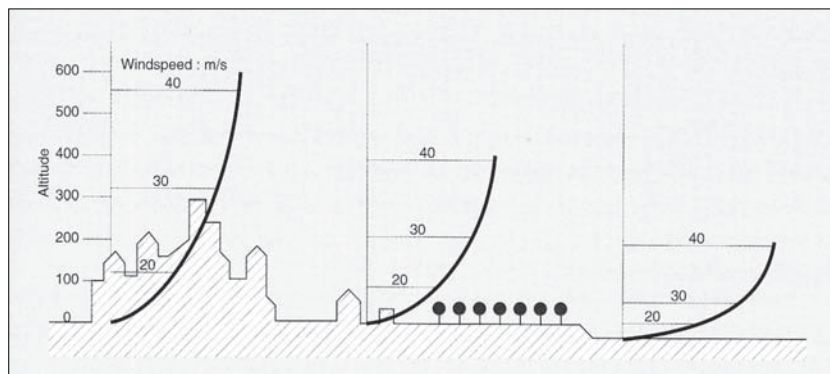


Figura 21. Andamento della velocità del vento al variare della rugosità del suolo.

termico oltre la necessità di condizionamento dell'aria.

Alcuni fattori che favoriscono l'isola di calore sono di origine meteorologica e non dovuti all'uomo, come la nuvolosità ed i venti a scala regionale. Comunque dal punto di vista della progettazione urbana, i fattori che possono essere modificati dall'intervento dell'uomo sono di un certo interesse. Questi comprendono il colore degli edifici (che determina la frazione di energia solare riflessa), la quantità e distribuzione delle aree verdi, il fabbisogno energetico degli edifici (in funzione di come questi sono realizzati), la densità e la tipologia edilizia (che influenza la quantità di energia solare che colpisce il suolo e le perdite termiche notturne), e l'orientamento delle strade rispetto ai venti prevalenti (che influenza la velocità del vento vicino al suolo).

Il ruolo dei fattori sopramenzionati che influenzano l'isola di calore, è comunque relativo al clima proprio della zona di riferimento (secco o umido), la stagione, e il tipo di attività prevalenti nella città.

Nei climi freddi è necessaria maggior energia per riscaldare gli edifici che nelle regioni a clima temperato, ma l'effetto del clima sul consumo energetico per il riscaldamento può essere fortemente determinato dalla qualità termica degli edifici. Infatti, un edificio molto ben isola-

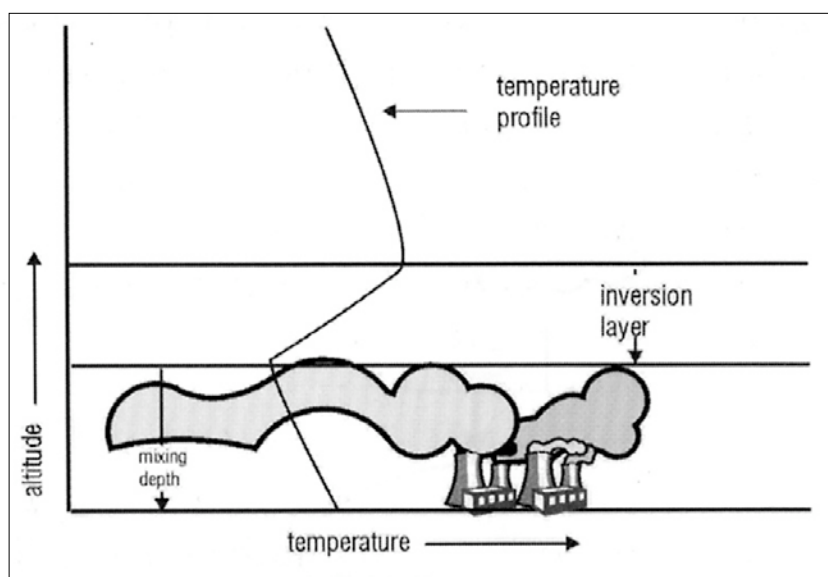


Figura 22. Profilo della temperatura sopra la città.

34 to in un clima freddo, può consumare meno energia di un edificio in un clima temperato ma scarsamente o per nulla isolato.

L'effetto dell'energia termica immessa dalla crosta urbana nell'atmosfera (sia che questa energia provenga dal degrado dell'irraggiamento, sia da combustione di fossili per riscaldamento o per attività industriale) è il riscaldamento degli strati d'aria vicini al suolo e la modificazione del gradiente termico dell'atmosfera e quindi sull'altezza della "inversione" del gradiente stesso e sulla potenza dello strato di "mescolamento".

Le correnti di vento in arrivo dalle zone limitrofe (di campagna e non costruite) si sollevano per effetto del cuscino caldo sopra la città e in tal modo l'effetto di diffusione del vento viene notevolmente ridotto, se non interamente annullato.

Il vento

La griglia urbana modifica la velocità e la direzione del vento in arrivo dalle aree limitrofe per effetto della sua geometria, della direzionalità dei volumi costruiti e delle "corrugazioni" varie.

Solo venti relativamente sostenuti riescono ad interagire con il suolo urbano, perché le brezze leggere vengono sollevate dalla corrente ascensionale calda che caratterizza la crosta urbana sulla sua verticale. I venti che infilano vie relativamente larghe e dritte riescono a giungere fino al centro della città, quelli che invece giungono da direzioni diverse rispetto all'orientamento del reticolo urbano principale vengono notevolmente smorzati e rotti in turbolenze che interessano solo l'ampia periferia.

La presenza di larghe piazze e di parchi, o aree verdi di una dimensione "sensibile" rispetto alla griglia urbana può indurre deboli correnti di ventilazione locale.

Edifici alti interagiscono con le correnti di vento che non sono frenate dalla griglia urbana e possono portare della turbolenza al suolo per effetto della vorticosità verticale che inducono nel flusso d'aria intercettato.

Gli alberi nei viali hanno effetto negativo agli effetti della ventilazione dei centri urbani in quanto riducono la sezione utile dei canali adduttori.

Ventilazione locale ed accelerazione delle correnti d'aria si hanno per effetto di cortili comunicanti con strade e per effetto di edifici ravvi-

cinati. Forme edilizie particolari possono provocare un notevole aumento della velocità locale del vento.

L'umidità relativa

Il suolo urbano nei confronti dell'umidità dell'aria si comporta come una roccia secca; le grandi quantità di acqua che servono la residenza ed in genere l'attività urbana non evaporano se non in minima parte nella cerchia urbana.

Le zone verdi e la vegetazione isolata producono vapore per evaporazione dalle foglie asportando acqua dal terreno ed immettendola nell'aria.

L'aumento della temperatura generalmente provocato sia in estate che in inverno dalla concentrazione costruita provoca un abbassamento dell'umidità relativa. Questa ragione provoca una diminuzione delle nebbie nei centri urbani, fatte salve le ore di primissimo mattino, quando l'irraggiamento nella zona dell'infrarosso ha abbassato notevolmente la temperatura della superficie urbana rispetto all'aria.

Quando la crosta urbana determina un'inversione di gradiente al suolo questa origina permanenze nebbiose.

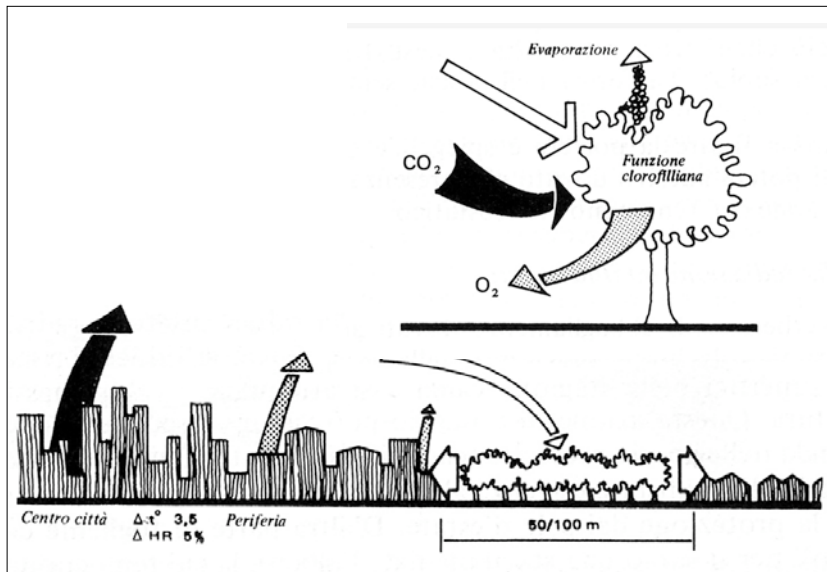


Figura 23. Effetto ossigenante della vegetazione (sopra)

Figura 24. Effetto di umidificazione dell'aria di una zona piantumata (sotto)

36 *La temperatura*

La temperatura dell'aria urbana è, per i fenomeni finora esaminati, a causa della enorme quantità di gasolio che viene bruciato per riscaldamento e/o condizionamento, in genere sempre molto più elevata di quella delle aree limitrofe. Questa differenza di temperatura determina i fenomeni di mescolamento tipici delle zone urbane (aspirazione dell'aria dalle zone circostanti negli strati bassi). Insieme all'energia termica fortemente degradata anche i regimi di riflessione e di albedo determinano la temperatura degli strati bassi dell'atmosfera urbana.

Effetti della vegetazione sulle aree urbane

L'estensione e il tipo di vegetazione distribuita sulla crosta urbana influiscono su molti fattori costituenti la climatologia specifica della città: temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità e condizioni di irraggiamento.

Le piante assorbono l'energia solare e invece di trasformarlo in calore sensibile lo trasformano mediante la fotosintesi in energia chimica; sottraggono, quindi, calore all'ambiente circostante. Un ulteriore raffreddamento è determinato dal calore assorbito dalla evaporazione che avviene sulla superficie delle foglie. Per effetto combinato dei due fenomeni risulta in un sensibile abbassamento della temperatura in corrispondenza di aree verdi rispetto alla temperatura su superfici asfaltate o costruite. A questi effetti si deve aggiungere il naturale effetto raffrescante che deriva dall'ombra portata dalle chiome di alberi: nel caso di foglie caduche, tale effetto viene a mancare nelle stagioni fredde quando il sole è gradito.

La riduzione della temperatura dell'aria al suolo provocata dalla vegetazione è accompagnata da un aumento della umidità: questo effetto può essere vantaggioso in climi aridi, mentre in climi umidi è, ovviamente, meno desiderabile.

Il tipo di vegetazione, l'estensione, l'altezza e la forma delle chiome sono fattori determinanti. Inoltre, per valutare gli effetti indotti sulla ventilazione derivanti dalla vegetazione è necessario considerare che:

- grandi aree verdi possono aumentare la velocità del vento al suolo ristabilendo la dinamica delle inversioni di gradiente alla mesoscala;
- alberi a alto fusto sparsi con grandi chiome accelerano la velocità dell'aria sotto le loro foglie;

- alberi alti e vicini riducono notevolmente la velocità del vento al suolo e possono essere usati come elementi frangivento quando questo è un elemento dal quale è necessario difendersi. 37

Modificazioni climatiche indotte dalle aree urbane

Oggi si tende ormai a considerare la città come un organismo con il suo proprio metabolismo interno. Da numerosi studi e misurazioni sul campo si è notato, innanzitutto, come la formazione dell'*isola di calore* sia un elemento che accomuna quasi tutti i centri urbani. In senso generale la formazione dell'*isola di calore* potrebbe essere causata da inversioni termiche verificatesi particolarmente all'esterno della città. Ecco quindi una caratteristica fondamentale del regime termico urbano: di notte il raffreddamento è sempre di minore intensità nelle aree edificate rispetto alle aree esterne.

La struttura della temperatura rivela che gli effetti dell'inversione termica sono maggiori nella periferia rispetto al centro, mentre in questo sono superiori le altezze dell'isola termica (in linea indicativa possono essere da tre a cinque volte l'altezza media degli edifici urbani).

In termini specifici, l'aria al di sotto dello strato di massima velocità del vento è considerata come "aria della città". La quantità di calore accumulata entro l'area urbana è notevolmente influenzata dalla produzione artificiale di calore e dalla capacità termica dei materiali da costruzione. La differente situazione termica di una città nei confronti dei suoi dintorni, dipende proprio dalla maggiore capacità dell'ambiente costruito di trattenere il calore rispetto alle aree rurali circostanti.

L'impatto dell'incisione della radiazione solare sul clima in prossimità del suolo dipende in parte dal rapporto tra l'altezza degli edifici (H) e lo spazio (W) tra loro, detto rapporto H/W degli spazi tra gli edifici.

Nell'area pianeggiante, la maggiorparte della radiazione solare è riflessa o emessa, dopo l'assorbimento, verso il cielo con una radiazione ad onda-lunga. In una area a media densità (rapporto H/W di circa 1), la maggiorparte della radiazione riflessa incide su altri edifici o sul suolo e viene infine assorbita dal suolo o dalle zone in prossimità di esso. Nell'area ad alta densità (rapporto H/W di circa 4 o più), la maggior parte dell'assorbimento si concentra molto al di sopra del livello del

38 suolo. Di conseguenza, il tasso di radiazione che raggiunge il suolo, e che riscalda l'aria vicino ad esso, è minore che nel caso della media densità.

Il clima a scala urbana si presenta quindi come una stratificazione di fenomeni, le conseguenze complessive dei quali sono quasi sempre ignorate dalla progettazione urbanistica ed edilizia. Le modifiche climatiche indotte dalle zone urbane rispetto alle zone rurali circostanti si possono sintetizzare nei seguenti dati:

- temperatura media annua più elevata;
- temperatura minima invernale più elevata;
- nuvolosità dal 5 al 10% superiore;
- frequenze delle nebbie invernali del 100% superiore;
- presenza nell'atmosfera di materiale particellare 10 volte superiori;
- ventosità media annua dal 20 al 30% superiore.

Il clima a scala urbana, ancorché noto in modo lacunoso è la matrice determinante per comprendere le caratteristiche del clima edilizio esterno e quindi per operare, alla scala edilizia, le appropriate scelte progettuali.

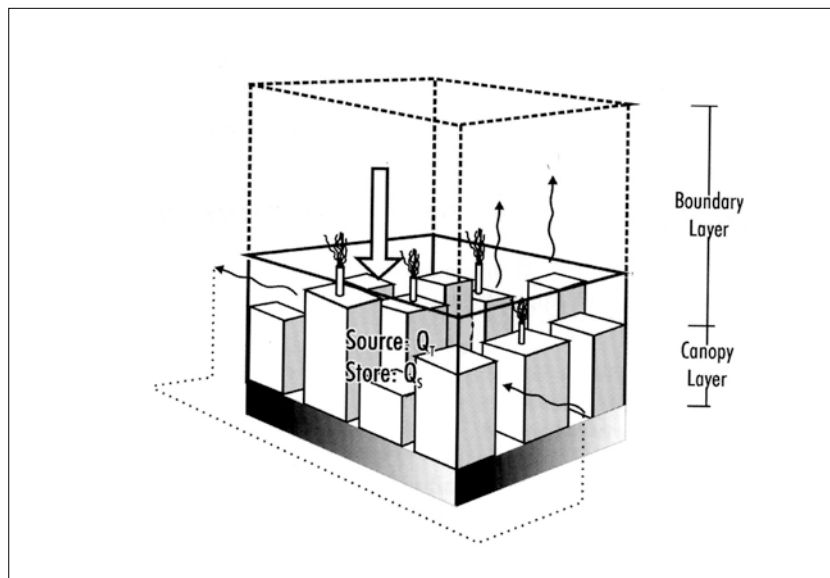


Figura 25. flussi energetici del clima della città.

Le fonti di riscaldamento urbano

39

Gli aspetti della temperatura diurna in qualsiasi ubicazione particolare all'interno della città dipendono principalmente dalle condizioni locali, in relazione alla densità del costruito e alla altezza degli edifici, alla natura della superficie del suolo (superfici solide, prati, alberi, condizioni d'ombra), alla esposizione del sito ai venti locali, e così via. Ogni luogo può essere sia più caldo che più freddo dell'area che lo circonda.

L'intensità del fenomeno del riscaldamento durante la notte è connesso più alla densità del costruito che alla grandezza della città. Infatti, molti studi approfonditi hanno dimostrato che il riscaldamento può svilupparsi anche in aree urbane di scala relativamente piccola.

L'aria più calda sopra tali piccole zone riscaldate si mescola infine con la massa dell'aria urbana e così eleva lentamente "l'aria dell'ambiente" che soffia attraverso la città sottovento. Inoltre, sebbene le origini del "riscaldamento urbano" possono essere piccole sacche, il loro effetto si accumula, per produrre il picco di elevazione della temperatura vicino ai centri delle città.

Isola di calore urbana e dimensione della città

Nelle grandi città è comune osservare temperature notturne dell'aria più alte di 3-5°C e, in casi estremi, più alte anche di 8°C, rispetto al territorio circostante. Mentre durante le ore diurne, questa differenza di temperature tra la città e il territorio circostante è inferiore – solo circa 1-2 gradi – e spesso le temperature diurne in aree densamente edificate sono più basse rispetto alle zone aperte circostanti.

Più grandi e dense sono le città, più grande è la differenza di temperatura dell'aria che si può normalmente osservare, durante la notte, tra il centro urbano e le aree circostanti.

Due dei fattori che causano il fenomeno dell'isola di calore dipendono dalla quantità e dalla densità della popolazione, come anche dal suo standard di vita (traffico veicolare, intensità del riscaldamento in inverno e del condizionamento dell'aria in estate, impianti industriali). Altri fattori dipendono dalla grandezza dell'edificato urbano, dalla sua densità, e dai dettagli di piano, quali la velocità secondo la quale l'area

40 si riscalda sotto il sole e si raffredda durante la notte tramite l'emissione verso il cielo della radiazione ad onda-lunga.

Le caratteristiche della temperatura diurna, in qualsiasi zona specifica della città, dipendono dalle condizioni locali, con riferimento al suolo coperto dall'edificato e all'altezza delle costruzioni che circondano i luoghi in esame, dalla natura della superficie del suolo (superfici compatte, prati, alberi, condizioni d'ombreggiatura), dall'esposizione del luogo ai venti regionali, e così via. In funzione di queste caratteristiche specifiche, ogni luogo può essere più caldo o più freddo rispetto all'area che lo circonda e molti studi hanno realmente dimostrato che l'isola di calore locale si può sviluppare anche in una zona urbana di piccola scala.

L'aria più calda sopra ogni isola di calore a piccola scala si meschia infine con il bulbo dell'aria urbana e così eleva lentamente l'aria ambiente che soffia attraverso la città sottovento. Inoltre, sebbene le origini dell'isola di riscaldamento urbano possono essere piccole masse, il loro effetto si accumula, per produrre un picco di elevazione della temperatura in prossimità del centro della città. Nella maggior parte dei casi, la densità degli edifici e le attività che producono energia nei centri urbani crescono in funzione della grandezza di una città. Così vi è una relazione razionale tra la grandezza di una città e l'intensità dell'isola di riscaldamento delle zone centrali. E' stato dimostrato che gli effetti combinati delle singole masse di riscaldamento, misurati come la massima differenza tra il centro urbano e le aree esterne aperte (dT), possono essere statisticamente relazionati alla quantità della popolazione (P) della città. L'isola di riscaldamento, comunque, decresce quanto più il vento regionale (U) è forte. Così Oke (1982) ha derivato la formula:

$$dT = P^{1/4} / (4 * U)^{1/2}$$

dove:

dT = intensità dell'isola di calore

P = popolazione

U = velocità del vento regionale (m/s)

La densità degli edifici, pur avendo una relazione causale più diretta con l'isola di calore urbano, è un aspetto urbano complesso e alquanto difficile da definire in un modo significativo nel senso della climatologia urbana. Quindi, è opportuno sostituire la quantità della popolazione urbana con la sua densità.

Effetto canyon e microclima urbano

Il clima dei canyon urbani

Secondo la teoria di Oke, lo spazio di aria sopra una città può essere diviso nella cosiddetta “calotta” d’aria urbana e nel livello limite sullo spazio della città chiamato “cupola d’aria urbana”. La calotta d’aria urbana è lo spazio delimitato dagli edifici sino ai loro tetti. Il livello della calotta urbana include un illimitato numero di microclimi generati dalle varie configurazioni urbane. Le condizioni climatiche specifiche in un qualsiasi punto dato, all’interno della calotta, sono determinate dalla natura dell’intorno immediato ed in particolare, dalle geometrie, dai materiali utilizzati.

Il livello superiore della calotta urbana varia da un punto ad un altro a causa delle altezze variabili degli edifici e delle velocità del vento.

Oke ha definito il livello della cupola d’aria come «quella porzione del livello limite planetario le cui caratteristiche sono influenzate dalla presenza di un’area urbana al suo limite più basso»; il livello della “cupola d’aria” è più omogeneo - nelle sue proprietà - della “calotta urbana”.

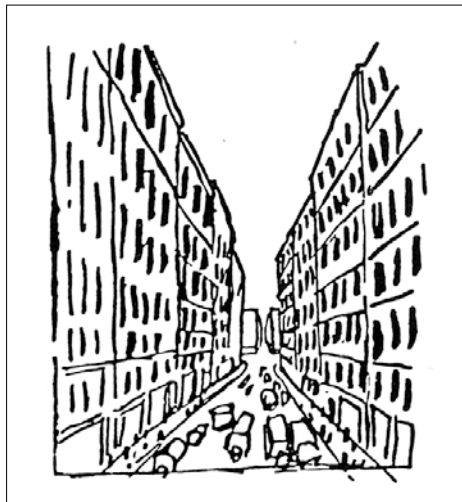


Figura 26. “rue corridor”

- 42 La circolazione dell'aria e la distribuzione della temperatura nei "canyons urbani" sono significative per il consumo energetico degli edifici, per gli studi sulla dispersione degli inquinanti, e per lo scambio di calore e di masse tra gli edifici e l'aria del canyon ed interessano, inoltre, gli studi sul potenziale energetico delle tecniche per la ventilazione naturale degli edifici, per il comfort dei pedoni, ecc.

La distribuzine della temperatura nei canyon urbani

La distribuzione della temperatura nel livello della "calotta urbana" è largamente influenzata dal bilancio della radiazione urbana. L'incisione della radiazione solare sulle superfici è assorbita ed in seguito trasformata in calore sensibile. La maggior parte della radiazione solare incide sui tetti e sulle pareti degli edifici; soltanto una parte relativamente piccola raggiunge il livello del suolo.

Le pareti, i tetti e il suolo emettono una radiazione ad onda lunga verso il cielo. L'intensità della radiazione emessa dipende dal fattore paesaggio delle superfici rivolte verso il cielo.

Nelle condizioni urbane, la maggior parte della volta celeste che potrebbe essere "vista" dai muri e dalle superfici è schermata da altri edifici e così lo scambio radiante ad onda lunga non comporta effettivamente perdite significative. Il bilancio netto, tra il guadagno solare e la perdita di calore dovuta all'emissione della radiazione ad onda lunga, determina il bilancio termico delle aree urbane. Dato che la perdita di calore radiante è più lenta nelle aree urbane, il bilancio netto è decisamente positivo rispetto alle aree rurali circostanti e perciò le temperature sono più alte.

Si sono fatti vari studi sulla configurazione del canyon, specialmente in relazione al fattore della vista del cielo, all'intensità dell'isola di calore nel canyon e alle temperature delle superfici. Alcuni studi in proposito, hanno verificato una forte correlazione tra la temperatura della superficie e la geometria della strada; più è alto il fattore della vista del cielo più è bassa la temperatura della superficie. Sebbene le alte temperature delle superfici siano state anche registrate in canyons fuori della città con fattori di vista del cielo bassi, non è stata trovata una chiara correlazione tra la temperatura urbana e il fattore di vista del cielo. Questo indica chiaramente che la temperatura media dell'aria delle strade è

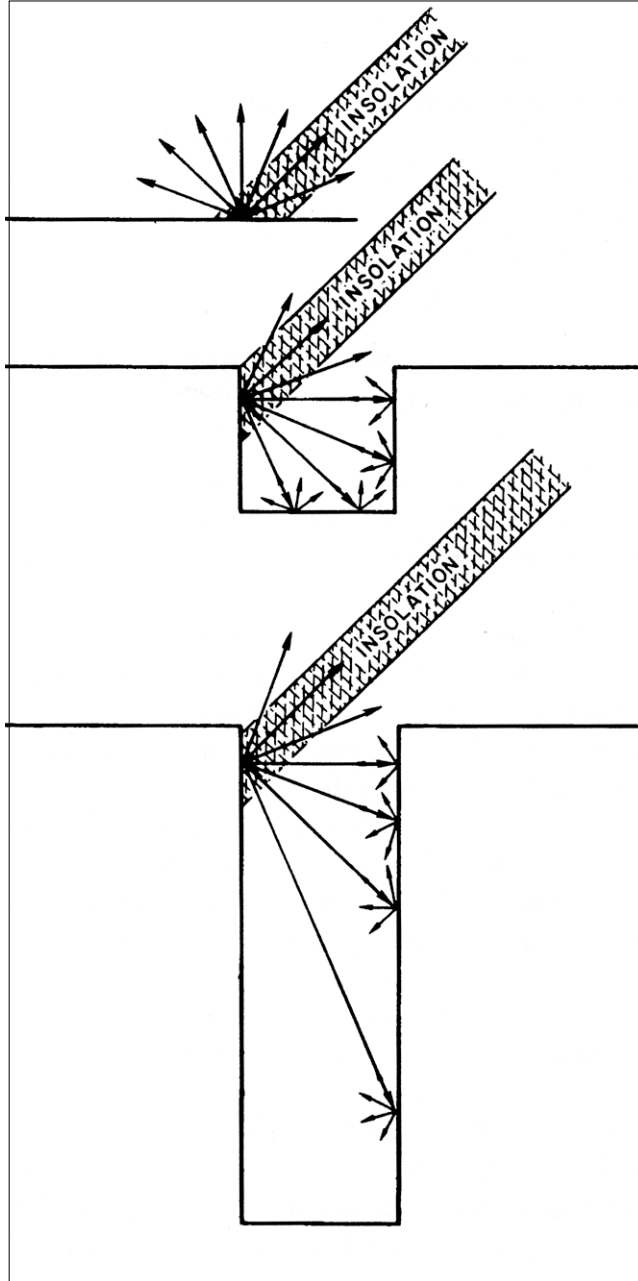


Figura 27. Radiazione solare nel canyon urbano

- 44 governata da fattori più complessi e locali piuttosto che dalla temperatura superficiale, anche se la geometria locale del canyon è comunque importante. In uno studio di Eliason, pur non essendo stata trovata alcuna correlazione tra le temperature urbane e il fattore di vista del cielo, è stato rilevato che la differenza massima di temperatura superficiale, osservata in siti urbani compresi tra $H/W = 0.5$ e $H/W = 2.0$ (H = altezza, W = ampiezza), è di 3.5 K. In uno studio simile, Arnfield ha riscontrato una differenza di temperatura superficiale di 4 K tra siti urbani di differente densità (rapporti H/W rispettivamente di 0.5 e 2.0). Entrambi gli studi mostrano chiaramente che esistono variazioni importanti nella temperatura superficiale tra siti urbani di geometria differente.

Temperatura superficiale

La temperatura dei materiali esterni in un canyon è governata dal suo bilancio termico. Le superfici assorbono la radiazione ad onda corta in funzione della loro capacità di assorbimento e della loro esposizione alla radiazione solare. Esse assorbono ed emettono la radiazione ad onda lunga in funzione della loro temperatura, della loro emissività e del fattore di vista. Inoltre esse scambiano calore con l'aria circostante e per conduzione con gli strati dei materiali sottostanti.

Le caratteristiche ottiche e termiche dei materiali usati negli ambienti urbani e specialmente l'*albedo*⁶ per la radiazione solare e l'emissività per la radiazione ad onda lunga hanno un impatto molto importante sul bilancio energetico urbano.

L'uso di materiali ad alto albedo riduce la quantità di radiazione solare assorbita dagli involucri degli edifici e dalle strutture urbane e mantiene le loro superfici più fredde. I materiali ad alta emissività sono buoni emittenti di energia ad onda lunga e rilasciano direttamente l'energia che è stata assorbita come radiazione ad onda corta.

Le temperature superficiali più basse contribuiscono a far decrescere la temperatura dell'aria dell'ambiente poiché l'intensità del calore per convezione da una superficie più fredda è più bassa. Tali riduzioni di temperatura possono avere impatti significativi sul consumo di energia per raffrescare nelle aree urbane; un aspetto di particolare importanza nelle città con climi caldi.

Alcuni esperimenti hanno mostrato quando in un canyon vengono confrontate le temperature superficiali di facciate opposte, allora, come supposto, le superfici rivolte più o meno a sud, durante il giorno presen-

tano temperature più alte rispetto alle superfici rivolte a nord. La massima differenza di temperatura diurna simultanea tra due pannelli che si fronteggiano può raggiungere i 19 K. La differenza più alta della temperatura diurna massima registrata e riportata tra due superfici che si fronteggiano è di circa 14 K. Vi è un periodo durante il giorno, nel quale una delle due facciate presenta una temperatura più alta di quella della facciata opposta. Questo periodo di tempo è funzione dell'orientamento del canyon, della configurazione e delle caratteristiche dei materiali che formano le facciate.

Nei canyons orientati a N-S, NE-SO, SE-NO, dove le esposizioni solari sono sud, sud-est o sud-ovest, la differenza di temperatura istantanea durante il giorno tra superfici opposte è più bassa a livello del suolo e cresce in funzione dell'altezza del canyon. Questo perché, in questo tipo di canyon, le superfici più basse delle facciate a S, SO e SE ricevono molta meno radiazione di quelle più alte, così in piani più alti a S, SO e SE presentano temperature superficiali più alte. Ciò è stato verificato sperimentalmente. Siccome le facciate orientate a N, NE e NO ricevono livelli molto bassi di radiazione, le differenze di temperatura istantanee sono più alte ai piani superiori.

Durante la notte, la differenza di temperatura tra superfici opposte nel canyon è generalmente poco significativa. La differenza di temperatura massima registrata è vicina ai 2 K. In quasi tutti i casi nei quali si è riscontrata una differenza di temperatura significativa, e il fattore vista delle facciate opposte è più o meno lo stesso, le facciate a S, SO e SE risultano più calde delle superfici opposte nel canyon. Le temperature più alte si registrano durante la notte solo sulle facciate non rivolte a sud quando queste facciate presentano temperature più alte anche durante il giorno.

Durante la notte, la temperatura di una superficie è principalmente governata dal suo bilancio radiante. Le differenze di temperatura più elevate si misurano nei canyon asimmetrici. In questi canyons, il fattore di vista del cielo e, perciò, il bilancio radiante delle superfici opposte è differente. In generale, le superfici con un fattore di vista del cielo più alto presentano una temperatura più bassa durante la notte.

La distribuzione verticale della temperatura esterna degli edifici, in un canyon, è più interessante perché definisce il trasferimento convettivo da e verso l'aria ambiente.

46 Le misurazioni della distribuzione verticale delle temperature superficiali in vari canyons urbani hanno mostrato quanto segue:

Durante il giorno, sulle facciate orientate a S, SO e SE, la differenza di temperatura varia tra lo zero e i 14 K. Durante lo stesso periodo, la temperatura superficiale più bassa si rileva al livello del suolo. Questo soprattutto perché la radiazione solare incidente è molto più bassa a questo livello. E' stato anche osservato che a volte le superfici di media altezza (piani intermedi) presentano le temperature più alte. Questo perché, in tali canyon, i piani intermedi ricevono più o meno la stessa radiazione solare dei piani superiori e più radiazione infrarossa dagli edifici di fronte, mentre i flussi convettivi sono più bassi poiché la velocità del vento è ridotta a tale livello. Inoltre, nella maggior parte dei casi, la temperatura dell'ambiente a questa quota è più alta rispetto alla temperatura dell'aria fuori dal canyon.

Durante il giorno, sulle facciate orientate a N, NE e NO, la differenza di temperatura varia tra i 2 e i 6 K. Le temperature superficiali più basse si rilevano a piano terra per le ragioni esposte in precedenza. Comunque, nei canyon con un rapporto H/W piccolo, le temperature più alte si possono osservare a piano terra, specialmente quando la superficie del suolo è fortemente assorbente. La differenza tra la temperatura superficiale tra i piani intermedi e quelli superiori non è significativa in questo caso. Questo perché, per questi orientamenti, la radiazione solare più alta ricade sulle superfici dei piani superiori e controbilancia i guadagni addizionali per irraggiamento e convezione dei piani intermedi.

Durante la notte, la differenza di temperatura nelle facciate a S, SO e SE varia tra 0 e 5 K, con un valore predominante vicino ai 3 K. In tutti i casi le temperature più alte si rilevano a piano terra. Quindi la temperatura scende in funzione dell'altezza del canyon. Questo a causa del bilancio radiante nel canyon. Le superfici più basse hanno fattori di vista del cielo più bassi e fattori di vista più alti per gli altri edifici del canyon, e così presentano un bilancio radiante notevolmente positivo. Comunque, tra l'intensità della temperatura verticale e il rapporto H/W non è stata trovata alcuna correlazione. Inoltre, l'intensità della temperatura verticale notturna non può essere correlata con l'intensità verticale diurna corrispondente. Questo perché la temperatura delle superfici non è governata solo dal loro bilancio radiante e dal calore conservato, ma anche dalle perdite convettive e conduttive.

Durante la notte, la differenza di temperatura nelle facciate a N, NO e NE varia tra 0 e 3 K. Come nel caso delle superfici orientate a sud, le temperature più alte si rilevano a piano terra e la temperatura scende in funzione dell'altezza.

Temperatura dell'aria

La distribuzione dell'aria dell'ambiente in un canyon influenza notevolmente il consumo energetico degli edifici. Le temperature più alte, in un canyon, fanno incrementare la convezione del calore verso il costruito e il carico di raffrescamento dovuto alla ventilazione aumenta. Inoltre, è molto importante capire il meccanismo che determina la distribuzione della temperatura dell'ambiente in un canyon.

La temperatura in un canyon è influenzata dalla temperatura delle superfici del canyon, poiché l'energia si trasferisce tramite processi convettivi. Alcuni esperimenti sulla distribuzione della temperatura dell'aria nei canyons hanno principalmente desunto che la stratificazione della temperatura dell'aria nei canyons durante il giorno non è significativa. Le differenze di temperatura diurne massime raramente superano i 2-3 K. Non è stato osservato nessun tipo specifico di distribuzione della temperatura in funzione dell'altezza del canyon. Nella maggior parte casi le temperature più basse si misurano ai livelli del suolo e la temperatura sale in funzione dell'altezza del canyon.

Questo si combina con la distribuzione delle temperature superficiali degli edifici nel canyon.

La distribuzione della temperatura dell'aria attraverso un canyon è di grande interesse. È stato osservato che, vicino alle facciate di un edificio, si sviluppa un "film" di aria, funzione della temperatura della superficie dell'edificio e della quantità del trasporto dell'aria verticale. Al centro del canyon, a livello del suolo, la temperatura dell'aria è più correlata alla divergenza di flusso per unità di volume d'aria includente gli effetti del trasporto orizzontale. Così, la temperatura al centro del canyon è molto diversa dalla media delle temperature dei due "films" di aria sviluppati sulle facciate degli edifici ai due lati.

Come ci si aspetta, la temperatura dell'aria vicina alle facciate S, SO e SE di un canyon sarà più alta. Le differenze di temperatura dell'aria misurate tra le due facciate varia in funzione della configurazione del canyon e delle caratteristiche delle superfici. La differenza di temperatura principale massima riportata durante il periodo del picco di tempe-

48 ratura è vicina ai 3 K. La massima differenza di temperatura assoluta misurata si avvicina ai 5 K.

Alcune misurazioni hanno mostrato che, in molti casi, la temperatura al centro del canyon è più bassa rispetto alla temperatura del corrispondente “film” d’aria. In tutti questi casi la temperatura del “film” d’aria è più alta della temperatura dell’aria indisturbata misurata sopra gli edifici.

Il confronto delle temperature superficiale e dell’aria nei canyon, misurato durante il periodo estivo, mostra chiaramente che in molti casi, la temperatura superficiale è più alta della temperatura dell’aria. In particolare, le facciate a S, SO e SE mostrano temperature più alte di più di 13 K. Le differenze di temperatura più basse sono state osservate sulle facciate N, NO e NE, dove la massima differenza di temperatura osservata è stata di 10 K. In tutti questi casi, la temperatura dell’aria nel canyon è più alta di quella dell’aria indisturbata misurata sopra il canyon. In alcuni casi, la temperatura dell’aria è più alta di quella superficiale di circa 3-4 K (in condizioni di picco massimo). Allo stesso tempo, la temperatura dell’ambiente indisturbato è di 4-8 K più alta della temperatura dell’aria. A causa dei trasporti d’aria verticali e orizzontali in questi canyons, la temperatura dell’aria vicina alle superfici oscilla tra la temperatura delle superfici e quella dell’ambiente indisturbato.

La distribuzione della temperatura in un canyon durante la notte è bassa. Durante il periodo estivo, la differenza massima di temperatura tra i differenti livelli del canyon non supera mai 1.5 K. In tutti i casi, la temperature più alte si misurano a livello del suolo, e la temperatura decresce in funzione dell’altezza. Ciò si combina con la distribuzione

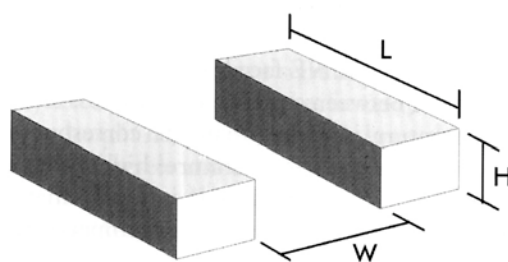


Figura 28. Dimensioni caratteristiche del canyon urbano.

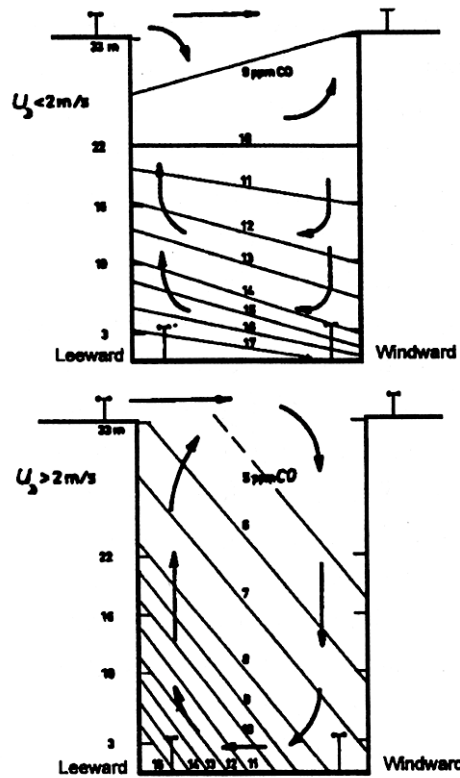
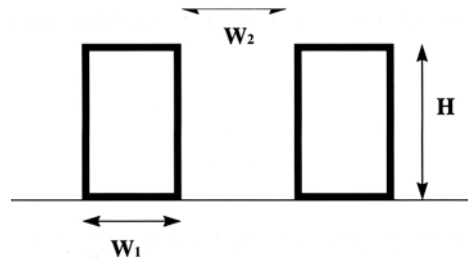


Figura 29. Flussi energetici nel canyon.

50 della temperatura superficiale nel canyon durante la notte ed è correlato al bilancio radiante delle superfici del canyon. Non sono state misurate differenze significative della temperatura dell'aria tra la temperatura dell'aria vicina alle facciate S, SO e SE e le facciate N, NO e NE. In generale, le facciate S, SO e SE hanno una temperatura dell'aria più alta, ma la differenza di temperatura raramente supera 0.5 K. La temperatura dell'aria nel centro del canyon è più alta di quella del "film" d'aria vicino alle facciate del canyon. In particolare, la differenza per le facciate S, SO e SE è di circa 0.3 K, mentre la differenza corrispondente per le facciate N, NO e NE è di circa 0.7 K.

Durante la notte, la differenza massima tra le superfici e l'aria è di circa 2 K. In molti canyon, la temperatura superficiale è più alta della temperatura dell'aria. Per alcuni canyon, comunque, sono state registrate temperature dell'aria più alte delle temperature superficiali. In questi canyon si è rilevato che, la temperatura dell'asfalto sul suolo è sempre più alta della temperatura dell'aria di circa 1 K. Perciò, c'è un flusso convettivo dalla superficie della strada verso l'aria adiacente che contribuisce a far aumentare la sua temperatura.

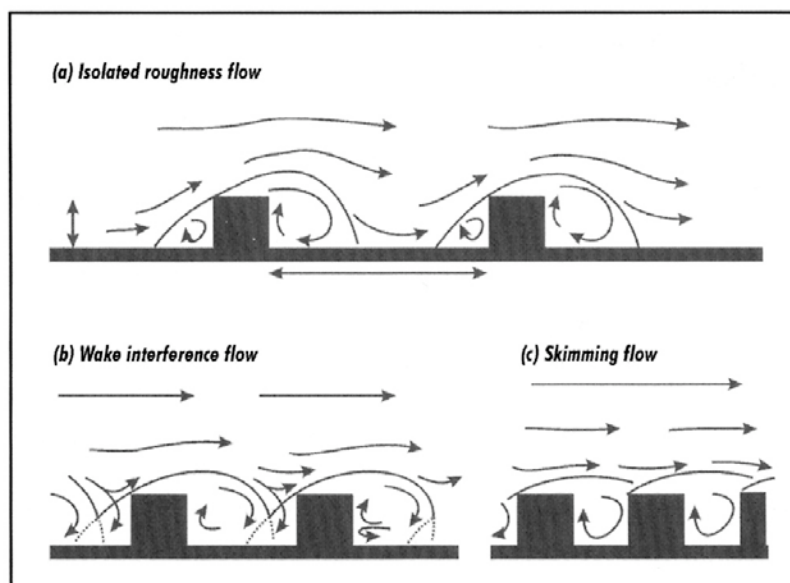


Figura 30. Tipi di flusso in funzione della distanza degli edifici.

L'orientamento delle strade determina la quantità di radiazione solare ricevuta dalle superfici del canyon, mentre la temperatura dell'aria nel canyon non è molto influenzata dalla configurazione del canyon stesso. Essa è principalmente condizionata dai flussi d'aria. Si può concludere che l'orientamento di una strada non influenza la temperatura della massa d'aria nel canyon, sebbene esso abbia un'influenza piuttosto forte sul "film" di aria che si distribuisce in prossimità delle facciate. In tutte le configurazioni testate, le facciate S e SO hanno mostrato i picchi di temperatura diurni più alti, mentre durante la notte non sono state rilevate differenze di temperatura significative.

Il flusso d'aria nel canyon urbano

Il tipo di flusso d'aria intorno agli edifici isolati è ben conosciuto. Esso, è caratterizzato da un vortice dovuto al flusso discendente sulla facciata esposta al vento, mentre sul retro, vi è una situazione riparata di bassa pressione risultante dalla separazione del flusso rispetto agli angoli tra i lati dell'edificio.

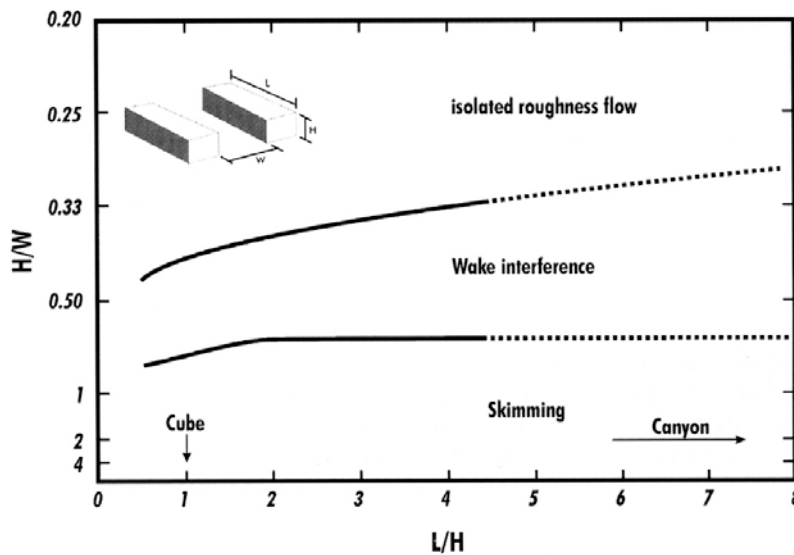


Figura 31. Flussi in funzione delle dimensioni del canyon.

La conoscenza delle caratteristiche del flusso d'aria nei canyons urbani è necessaria per tutti gli studi relazionati con la ventilazione naturale degli edifici, con gli studi sull'inquinamento, con il comfort termico, ecc.

I canyon urbani sono caratterizzati da tre parametri principali: H , l'altezza principale degli edifici nel canyon, W , l'ampiezza del canyon e L , la lunghezza del canyon. Dati questi parametri, gli indicatori geometrici sono limitati a tre semplici misure. Queste sono il rapporto H/W , il rapporto L/H e la densità del costruito $j = A_r / A_l$ dove A_r è il piano dell'area del tetto della media del costruito e A_l è il lotto o l'unità di porzione del suolo occupata da ogni edificio.

La conoscenza dei tipi di flusso d'aria nei canyon urbani deriva sia da studi numerici, sia da esperimenti nei canyon urbani reali o tramite modelli fisici in scala nelle gallerie del vento. Molti degli studi esistenti riguardano la determinazione delle caratteristiche dell'inquinamento nel canyon e pongono l'accento su situazioni ove il flusso dell'ambiente è perpendicolare all'asse longitudinale del canyon, quando si verifica la concentrazione d'inquinamento più alta.

Velocità del vento perpendicolare

Quando la direzione predominante del flusso d'aria è più o meno normale (vale a dire $\pm 30^\circ$) all'asse lungo del canyon, si osservano tre tipi di regime del flusso d'aria, che sono funzione dell'edificio (L/H) e delle geometrie (H/W) del canyon.

Quando gli edifici sono ben distanziati, ($H/W > 0.05$), i loro campi di flusso non interagiscono. Negli spazi più vicini, le scie sono disturbate e il regime di flusso è detto "flusso di turbolenza isolata". Quando l'altezza e le distanze dello schieramento si combinano per disturbare il "cuscin" d'aria e le cavità dei vortici, il regime si converte in flusso di interferenza della scia. Questo è caratterizzato da flussi secondari nello spazio del canyon, dove il flusso discendente della cavità del vortice è potenziato dal flusso della facciata esposta al vento dell'edificio vicino. Per rapporti H/W e densità sempre maggiori, nel canyon si stabilisce un vortice circolatorio stabile, a causa del trasferimento del momento (o velocità) attraverso uno strato di "taglio" all'altezza del tetto e si verifica una transizione verso un regime di flusso, nel quale la massa del flusso non entra nel canyon.

Le transizioni tra questi tre regimi si verificano per combinazioni

critiche dei rapporti H/W e L/W . Oke ha proposto le soglie in base alle quali suddividere i tre regimi in funzione del costruito (L/H^9 e delle geometrie del canyo (H/W).

Il flusso d'aria nel canyon può essere considerato come un ricircolo dell'aria secondario indotto dal flusso che passa sopra ai tetti. Se la velocità del vento al di fuori del canyon è al di sotto di alcuni valori si soglia, l'accoppiamento tra i flussi principale e secondario si perde e la relazione tra la velocità del vento sopra il tetto e quella nel canyon è caratterizzata da una considerevole dispersione.

Alcuni studi su canyon piuttosto simmetrici, hanno riportato valori di soglia tra 1.5 e 2 m/s. In tutti questi studi, le velocità del vento più alte risultarono produrre un vortice in circolo stabile nel canyon. Per le velocità del vento più basse, le influenze sia termiche sia meccaniche possono assumere un ruolo importante nella circolazione dell'aria nel canyon.

Per quanto riguarda la velocità dell'aria nel canyon; le velocità verticali della scia discendente in un canyon sono funzione dell'altezza e raggiungono un massimo vicino al 95% della velocità orizzontale dell'ambiente, per altezze vicine ai tre quarti dell'altezza della costruzione

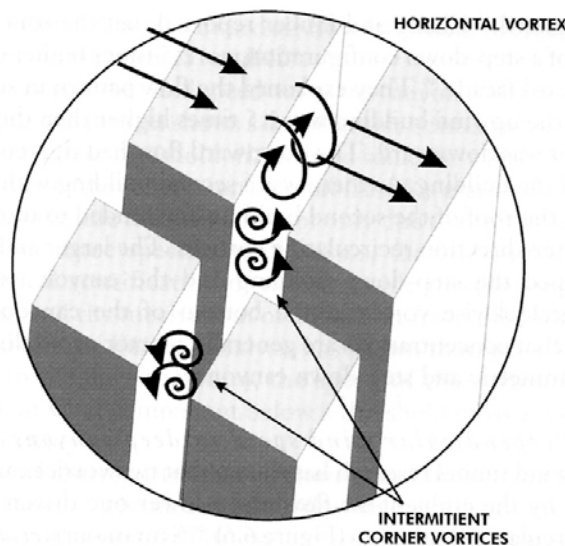


Figura 32. Vortici intermittenti agli angoli degli edifici

54 sopravvento. La velocità della scia risalente appare essere relativamente indipendente dall'altezza e ha un massimo vicino al 55% della velocità dell'ambiente, per un'altezza di un mezzo dell'altezza della costruzione sopravvento. Le velocità verticali misurate al centro del canyon si avvicinano alla zero. Le velocità orizzontali variavano da zero al 55% della velocità del vento corrente. Le velocità orizzontali più alte si rilevano alla base e nelle parti più alte del canyon.

Alcune misurazioni effettuate mostrano che siccome il vento orizzontale a livello di copertura varia da 1 a 3 m/s, le correnti ascendenti e discendenti variano proporzionalmente da 0.1 a 1 m/s. Alcune simulazioni numeriche, in un canyon simmetrico, con una velocità indisturbata del vento di 5 m/s ad andamento perpendicolare al canyon, mostrano che la forza del vortice sviluppata nel canyon è inferiore alla velocità del vento sopra il livello di copertura di circa un ordine di grandezza.

Gli effetti del canyon di lunghezza circoscritta, assumono un ruolo importante nella distribuzione del flusso d'aria nei canyon. Quando L/W è circa 20, gli effetti del canyon di lunghezza circoscritta cominciano a dominare il vortice.

Quando i venti correnti sono perpendicolari all'asse del canyon, sia per i canyon simmetrici sia per quelli crescenti le concentrazioni delle sostanze inquinanti sono fattori che si moltiplicano del doppio o anche di più per la facciata sottovento rispetto a quella sopravvento.

Risultati piuttosto differenti si sono ottenuti con simulazioni numeriche per un canyon con $H/W = 1$, con una velocità del vento corrente di 5 m/s, perpendicolare al canyon: la massima concentrazione coincide con il centro del vortice, che è collocato sul lato sopravvento del canyon a 0.7 dell'altezza del costruito.

Velocità del vento perpendicolare nei canyons profondi

Nei canyons profondi, la ricerca con la galleria del vento a mostrato che si sviluppano due vortici, uno superiore indotto dal flusso dell'aria dell'ambiente e uno inferiore guidato nella direzione opposta dal ricircolo superiore.

Per un flusso d'aria perpendicolare, i dati misurati indicano in maniera evidente l'insorgere di un singolo vortice indotto dal flusso d'aria ambiente. Quando si considerano tutte le velocità del vento, in almeno i due terzi dei casi, l'aria si muove discendendo sulla facciata sopravvento e nella direzione da SE a NO lungo il canyon. La direzione della

velocità dell'aria misurata attraverso il canyon è quasi sempre opposta alla direzione del vento fuori dal canyon, ma i valori misurati sono piccoli e inferiori a 0.1 m/s.

Un confronto diretto tra la velocità del vento fuori del canyon e le componenti secondarie del flusso d'aria nel canyon mostra una dispersione considerevole indipendente dalla velocità del vento. La mancanza di un valore di soglia preciso della velocità del vento rispetto al quale si può stabilire il legame tra le velocità del vento dentro e fuori il canyon è principalmente dovuta a quanto segue. La circolazione dell'aria nel canyon non è dovuta solo al flusso di vento dell'ambiente, ma è la risultante di tre meccanismi distinti, il flusso dell'aria dell'ambiente sopra il canyon, la stratificazione verticale dell'aria nel canyon, che può raggiungere valori fino a 6 K. Inoltre alcune analisi hanno dimostrato che, quando la stratificazione non contribuisce alla circolazione dell'aria, la velocità del vortice si incrementa con le componenti trasversali del vento dell'ambiente sotto una soglia della velocità del vento che incrocia il canyon compresa tra 2 e 3 m/s.

Santamouris *et al.* hanno anche rilevato che in almeno un terzo dei casi si osserva un movimento dell'aria in senso antiorario. Le caratteristiche del flusso d'aria misurato indicavano chiaramente l'esistenza di un secondo vortice antiorario nel canyon. Il vortice superiore ruota in senso orario e trasmette l'energia che causa la rotazione della parte inferiore del fluido secondo un vortice con movimento antiorario.

Nei risultati riportati da Santamouris *et al.*, il movimento antiorario si verificava solo quando la differenza di temperatura tra la temperatura dell'aria degli strati più bassi e quelli medio-alti vicini alla facciata del canyon orientata a sud era positiva. Ciò avveniva normalmente a metà giornata quando prima la facciata NE e poi il suolo del canyon erano fortemente irradiati. Alle due del pomeriggio, quando la facciata NE era irradiata, la temperatura superficiale ai livelli superiori della facciata era di circa 6-10 K più alta di quella dei livelli più bassi e del suolo. Questo dipendeva dallo sviluppo di un flusso d'aria discendente lungo la facciata NE del canyon. A metà del giorno, quando il suolo del canyon era illuminato dal sole, la differenza tra la temperatura superficiale del suolo del canyon vicino alla facciata SO e quella dell'aria al di sopra raggiungeva 8-12 K. Questa stratificazione contribuiva al riscaldamento dell'aria e si traduceva in un flusso d'aria ascendente lungo la parete SO. Il ruolo della velocità del vento dell'ambiente era anche importan-

56 te. Si scopri che un incremento della velocità del vento dell'ambiente, combinato con una stratificazione della temperatura dell'aria nel canyon, faceva crescere sia la velocità del vento verticale sia la velocità del vento lungo il canyon.

Una spiegazione possibile del meccanismo è che la stratificazione della temperatura provoca un movimento di risalita dell'aria lungo la facciata SO dell'edificio e ai livelli più bassi del canyon non è possibile per il vortice estendersi verso il basso. In queste condizioni, i venti degli ambienti più alti contribuiscono alla trasmissione di più energia dal vortice del livello più alto a quello del livello più basso, incrementando così la sua velocità.

Flusso lungo il canyon

Come nel caso dei venti perpendicolari, il flusso d'aria nel canyon deve essere visto come un aspetto secondario della circolazione dell'aria, indotta dal flusso al di sopra delle coperture. Se la velocità del vento fuori dal canyon è al di sotto di determinati valori di soglia, la combinazione tra i flussi superiore e secondario si perde, e la relazione tra le velocità del vento sopra e sotto il livello di copertura è caratterizzata da una dispersione considerevole. Per le velocità del vento più alte, gli esiti e le conclusioni principali derivanti dagli studi esistenti corrispondono a quanto discusso di seguito.

Un flusso parallelo dell'ambiente genera un vento principale lungo l'asse del canyon, con possibili risalite lungo le pareti del canyon compatibilmente con un ritardo dovuto all'attrito con le pareti delle costruzioni e con la superficie della strada.

Il flusso è caratterizzato da una velocità lungo il canyon che è quasi sempre parallela all'asse del canyon e che ha un angolo relativo di incidenza discendente rispetto al suolo del canyon compreso tra 0° e 30° .

La componente della velocità del vento lungo il canyon, nel canyon, è direttamente proporzionale alla componente della velocità della corrente lungo il canyon sopra le coperture. Invece, per velocità del vento superiori a 5 m/s, la relazione generale tra le due velocità del vento sembra essere lineare.

Per quanto riguarda la relazione tra le velocità del vento verticale

all'apice del canyon e la velocità della corrente lungo il canyon: la velocità del vento verticale cresce con la velocità della corrente lungo il canyon. Quando la corrente del vento viaggia sotto una sezione corta del canyon e rallenta in risposta al condizionamento imprevisto delle sfaccettature del canyon, la relazione tra le due velocità del vento è quasi lineare.

Flusso inclinato all'asse del canyon

Il caso più comune è quello dei flussi d'aria in un particolare angolo relativo rispetto all'asse lungo del canyon. Secondo gli esiti principali delle ricerche, quando il flusso sopra le coperture è inclinato rispetto all'asse del canyon, viene indotta una spirale o un vortice ad avvita-mento lungo la lunghezza del canyon.

La ricerca con la galleria del vento ha anche dimostrato che nel canyon si sviluppa un tipo di flusso ad elica. Per angoli intermedi di incidenza rispetto all'asse lungo del canyon, il flusso d'aria del canyon è il prodotto delle componenti trasversali e parallele del vento dell'ambiente, le prime indirizzanti il vortice del canyon e le ultime determinanti l'estensione del vortice lungo il canyon.

Riguardo alla velocità del vento nel canyon, Lee *et al.* hanno riportato i risultati degli studi numerici in un canyon con $H/W = 1$ e una velocità della corrente uguale a 5 m/s, soffiante a 45° di inclinazione rispetto all'asse lungo del canyon. Lee *et al.* hanno riportato che nel canyon si sviluppava un vortice con una forza inferiore a quella della velocità del vento sopra il livello di copertura di circa un ordine di grandezza.

I risultati di Santamouris *et al.* mostrano che un incremento della velocità del vento dell'ambiente quasi sempre corrisponde ad un incremento della velocità del vento lungo il canyon.

Hoydysh e Dabert hanno riportato i risultati degli studi con la galleria del vento sulla distribuzione della concentrazione degli agenti inquinanti sia nei canyons simmetrici sia in quelli descrescenti e crescenti, quando il vento soffia ad una certa angolazione rispetto all'asse del canyon. Essi hanno calcolato l'angolo del vento per il quale si verifica la minima concentrazione. Essi hanno riportato che, per una configurazione decrescente, si verifica la minima concentrazione per venti lungo

- 58 (paralleli) il canyon (angolo di incidenza uguale a 90°). Per una configurazione simmetrica, il minimo si verifica con un angolo di incidenza di 30° per la facciata sottovento, e con angoli compresi tra 20° e 70° per la facciata sopravvento. In fine, per configurazioni del canyon crescenti, il minimo si verifica con un angolo di incidenza tra 0° e 40° per la facciata sottovento, mentre per la facciata sopravvento con angoli compresi tra 0° e 60° .

Effetti della densità urbana e dell'altezza del costruito sulla ventilazione della città

La densità urbana influisce sulle condizioni di ventilazione nelle strade e perciò anche sulla potenziale ventilazione naturale degli edifici. Questo effetto, comunque, dipende soprattutto dalle caratteristiche della struttura fisica della città. E' possibile ottenere un ampio ventaglio delle condizioni del vento, anche in un area densamente edificata, applicando diversi approcci progettuali a scala urbana. Infatti, è possibile avere un'area urbana ad alta densità, risultante da una commistione di edifici alti e bassi, con condizioni di ventilazione migliori di un area a bassa densità ma con gli edifici tutti della stessa altezza.

Normalmente si riconosce che un incremento della densità del costruito riduce il flusso dell'aria nell'area urbana, per via di un maggiore attrito con il suolo. Comunque, questo effetto dipende soprattutto dalle molteplici caratteristiche dello spazio urbano, incluso l'orientamento delle strade e degli edifici rispetto alla direzione del vento. E' possibile pertanto avere diverse possibilità di ventilazione per un dato livello di densità.

I fattori principali che determinano l'effetto della densità dell'edificato sulla velocità del vento urbano sono l'altezza media degli edifici e la distanza tra loro.

Comunque, il fattore più importante rispetto all'altezza di un edificio, dal punto di vista della ventilazione, è la *differenza tra le altezze* degli edifici vicini. Mentre l'edificato riduce la velocità del "vento regionale" in prossimità del suolo i singoli edifici più alti, che emergono tra quelli più bassi intorno a loro, creano forti correnti d'aria nella zona.

L'esistenza di una città crea correnti d'aria di diversa intensità, che derivano dai cambi di temperatura nell'area urbana. L'isola di calore

nella città – in precedenza definita come una massa di aria calda che attraversa l'area della città – causa un innalzamento graduale dell'aria calda nel centro urbano ed un flusso centripeto dell'aria più fredda, a livello del suolo, dalle zone esterne circostanti verso il centro. Come il fenomeno dell'isola di calore, questo flusso d'aria si verifica soprattutto di notte, specialmente nelle notti serene in assenza di venti regionali. Più la città è grande e densa più intensi sono questi fenomeni.

Nelle città dove l'andamento della densità non è concentrico, e l'area urbana consiste in “fazzoletti” di alta e bassa densità e con spazi aperti interstiziali, l'andamento dell'isola di calore e le relative correnti d'aria sono piuttosto irregolari. Il complesso campo della temperatura complica gli andamenti dei flussi d'aria indotti ascensionalmente. Gli andamenti dei flussi d'aria indotti ascensionalmente sono modificati, ovviamente, dalla topografia e dall'attrito variabile causato dagli edifici di differente grandezza e densità.

Durante le ore nelle quali non ci sono venti regionali, queste correnti d'aria, create dalla città stessa, possono provocare nello spazio urbano velocità notturne dell'aria più forti di quelle del territorio circostante. Nelle regioni calde è possibile potenziare queste correnti d'aria notturne centripete attraverso la progettazione urbana, lasciando fasce aperte (parchi aperti o ampie strade), passando da zone a bassa densità o spazi verdi aperti verso i centri ad alta densità.

Durante il giorno, le correnti dei venti locali si creano anche nella città come risultato della differenziale di riscaldamento, derivante dalla radiazione solare, delle murature di vari colori e con varie esposizioni. L'aria, che viene in contatto con le murature più calde (e parti delle strade) irradiate, si riscalda e sale, e l'aria, che viene in contatto le murature in ombra e le superfici più fredde, discende e soffia nella zona dalla quale l'aria più calda è salita. Quantitativamente, comunque, queste correnti d'aria sono piuttosto deboli.

Impatti climatici dell'orientamento e dell'ampiezza delle strade

L'ampiezza delle strade determina la distanza tra gli edifici ai lati della strada, influenzando sia la ventilazione sia l'utilizzazione del fattore solare. L'organizzazione delle strade determina anche in gran parte la ventilazione potenziale degli edifici, come per le condizioni della ventilazione esterna.

60 *L'impatto dell'ampiezza della strada sulle temperature diurne al livello del suolo.*

I modelli dell'isola di calore urbana asseriscono che le strade più strette, rispetto al rapporto altezza su ampiezza (H/W) e ai "fattori di vista del cielo", causano un'intensità più alta dell'isola di calore. Si è evidenziato, comunque, che l'effetto dell'ampiezza della strada può essere notevolmente diverso sulle temperature diurne. Molti studi sperimentali supportano questa ipotesi.

Nel luglio 1988 si misurò la temperatura dell'aria per due giorni, a circa 1 metro di altezza, in tre strade di ampiezze differenti, da un ampio viale, a un vicolo molto stretto, come anche in un parco urbano e in una vasta area dal suolo nudo, a Siviglia.

La mattina presto la temperatura nel viale ampio era la più bassa (in accordo con i modelli dell'isola di riscaldamento urbano), ma durante il resto del giorno, specialmente intorno a mezzogiorno e nelle ore del pomeriggio, gli andamenti della temperatura erano ribaltati. La temperatura più alta fu misurata nell'ampio viale moderno. La temperatura più bassa era nel vicolo stretto, con un rapporto H/W di circa 10.

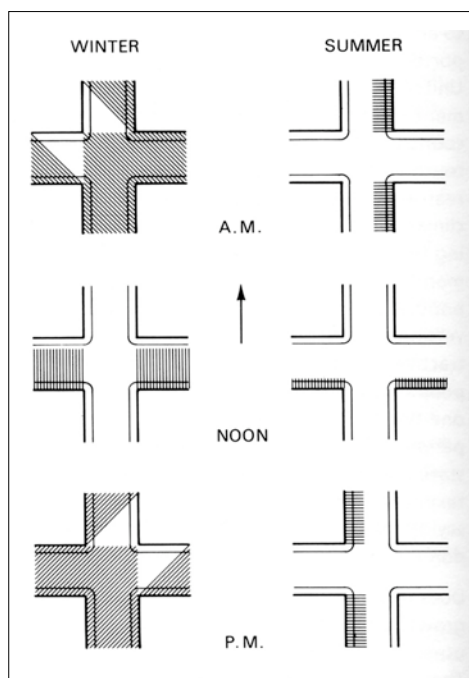


Figura 33. *Insolazione delle strade in funzione dell'orientamento.*

Impatti climatici dell'orientamento e dell'ampiezza della strada

- L'orientamento delle strade influisce sul clima urbani in diversi modi:
- condizioni del vento nell'area urbana totale;
 - sole e ombra sulle strade e sui marciapiedi;
 - esposizione solare degli edifici lungo la strada;
 - potenziale di ventilazione degli edifici lungo la strada.

L'orientamento delle strade determina gli andamenti annuali e giornalieri della radiazione solare degli edifici e degli spazi tra loro, influenzando così l'esposizione solare degli edifici e il comfort delle persone che camminano per le strade. L'orientamento delle strade urbane spesso determina l'orientamento degli edifici, che influisce sulla loro esposizione solare e sulle condizioni di illuminamento diurno.

In un clima caldo-secco gli obiettivi principali connessi all'organizzazione delle strade sono quelli di fornire la massima ombra di estate per i pedoni e la minima esposizione solare degli edifici.

Nelle strade strette, gli edifici forniscono un ombreggiatura migliore, sui marciapiedi per i pedoni, che nelle strade larghe. Comunque, l'ombra per i marciapiedi può essere fornita anche nelle strade ampie

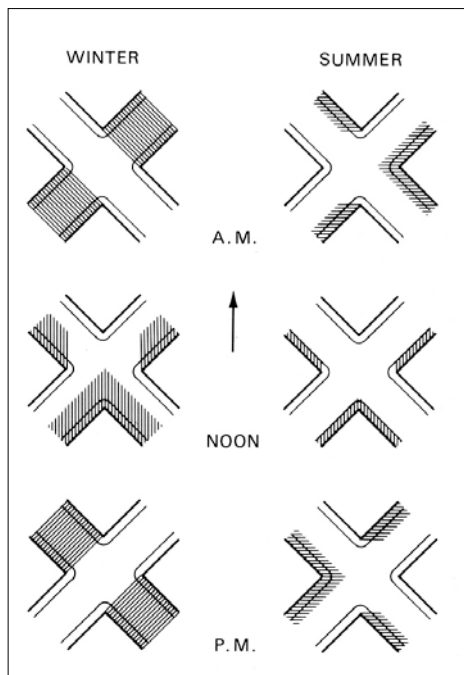


Figura 34. Insolazione delle strade in funzione dell'orientamento.

62 attraverso gli alberi o specifici dettagli degli edifici.

Un orientamento nord-sud di una strada può implicare un orientamento est-ovest degli edifici lungo la strada e paralleli ad essa, il che causa una esposizione solare sfavorevole per gli stessi edifici. Dal punto di vista dell'esposizione solare, è preferibile un orientamento est-ovest della strada.

Nelle aree polverose, comuni nelle regioni caldo-secche, le strade ampie parallele alla direzione del vento possono aggravare il problema della polvere in tutta la città. Dato che la direzione del vento in molte delle regioni caldo-secche è proveniente da est, vi è un conflitto tra le condizioni sul sole e sulla polvere nell'orientamento delle strade.

Nelle regioni caldo-secche la questione principale rispetto alla ventilazione è quella di assicurare la ventilazione degli edifici durante le serate. Dal punto che la ventilazione può essere assicurata dal progetto degli edifici stessi (es., con l'uso di captatori del vento), la ventilazione delle strade è di secondaria importanza, sebbene i venti leggeri sono desiderabili nelle strade e negli spazi aperti per mitigare l'effetto del riscaldamento del sole. Infatti, durante le ore diurne calde i venti forti non sono desiderabili, poiché essi favoriscono l'insorgere della polvere. Questo problema è più comune in molti paesi in via di sviluppo, dove molte strade sono prive di pavimentazione.

L'impatto combinato dell'orientamento e dell'ampiezza delle strade sulla ventilazione urbana

Nelle aree edificate ci sono notevoli variazioni nella velocità del vento nelle strade, come anche intorno e tra gli edifici, in funzione della relazione tra la direzione del vento e gli orientamenti delle strade e degli edifici. Quando lunghe file di edifici in un blocco urbano sono perpendicolari alla direzione del vento, allora delle zone riparate si stabiliscono tra gli edifici, ove la velocità del vento è solo una piccola frazione della velocità sopra i tetti degli edifici o delle velocità del vento nelle strade che sono approssimativamente parallele alla direzione del vento.

Per contro, quando i blocchi di edifici e le strade sono paralleli alla direzione del vento, il vento può soffiare negli spazi tra gli edifici e lungo le strade, con un piccolo ritardo dovuto all'attrito con gli edifici. In questo caso, la velocità del vento sarà più alta nelle strade, nei marciapiedi lungo le strade e negli spazi aperti tra gli edifici. Pertanto, in

questo caso, gli edifici sono esposti più o meno alla stessa pressione dell'aria su entrambi i lati, il che riduce la ventilazione naturale potenziale degli edifici.

Un caso particolare è quando il vento è obliquo rispetto alle strade e agli edifici lungo di esse (considerati paralleli alle strade). Se gli edifici sono di media altezza, fino a circa due volte l'ampiezza della strada, allora la situazione è molto differente sui due lati della strada. La pressione e la velocità del vento è diversa sui due lati degli edifici e lungo i marciapiedi. I pedoni sul marciapiede del lato sottovento avvertiranno una velocità del vento molto più alta che i pedoni sul marciapiede della strada sopravvento. La ragione è che lungo gli edifici sottovento, viene generata dai venti una forte cor-

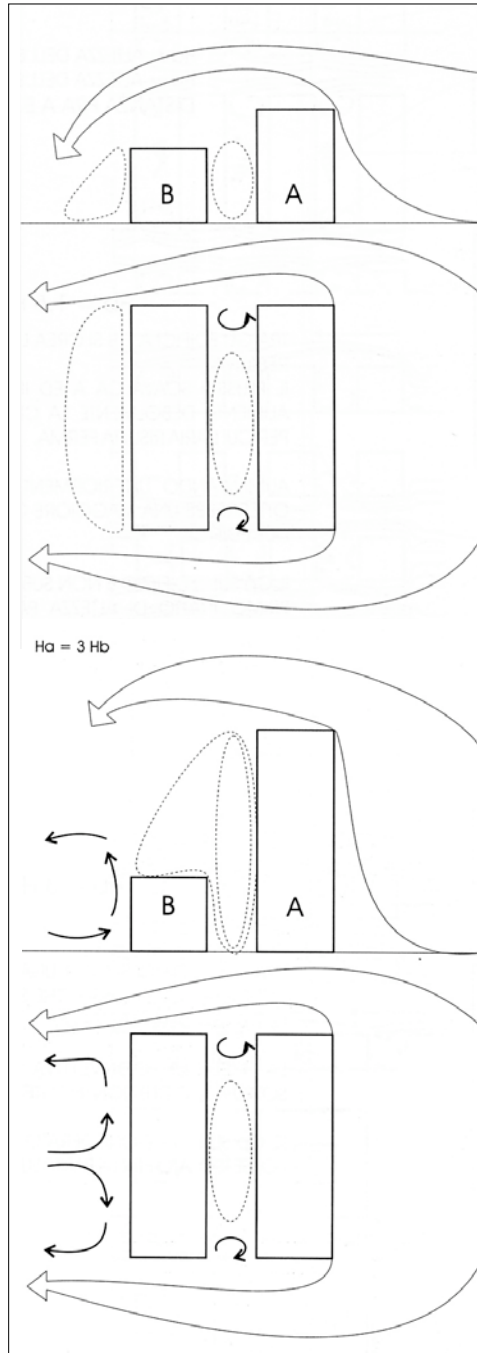


Figura 35. Ventilazione in funzione della morfologia degli edifici.

64 rente discendente, specialmente in prossimità degli incroci tra le vie. Il marciapiede sottovento è direttamente colpito da questo flusso d'aria discendente, mentre l'altro marciapiede è schermato dal vento.

Quando le strade della città sono parallele alla direzione del vento creano passaggi liberi attraverso i quali i venti prevalenti possono penetrare il centro dell'area urbana. In questo caso, dato che le strade sono ampie, il flusso d'aria incontra meno resistenza da parte degli edifici ai lati delle strade, migliorando così la ventilazione urbana generale. Un fenomeno simile si verifica quando le strade sono inclinate di un angolo minimo rispetto ai venti prevalenti.

Quando le strade della città sono perpendicolari alla direzione del vento, e gli edifici sono accorpati per stecche continue lungo queste strade, le correnti d'aria principali soffiano sopra gli edifici. Il flusso d'aria nelle strade è soprattutto il risultato di una corrente d'aria secondaria, causata dall'attrito del vento che soffia sulla città contro gli edifici lungo le strade. In queste condizioni, la ventilazione dello spazio urbano è fortemente influenzata dall'ampiezza delle strade, incontrate nel raggio delle aree urbane.

Nelle regioni dove sono desiderabili velocità del vento alte e vicine al suolo, questa situazione può essere modificata con un'ideale ubicazione di edifici alti. Tali edifici creano zone di alta e bassa pressione sopra l'area edificata, e ciò genera correnti verticali che muovono la massa dell'aria urbana.

Quando le strade sono orientate di un angolo obliquo rispetto alla direzione del vento, il vento si scompone in due componenti. La prima soffia nella direzione della strada ma è concentrata soprattutto nel lato sottovento della strada. La seconda componente causa pressioni sul lato sopravvento degli edifici. Sul lato sopravvento della strada, il flusso d'aria è più mite e zone di bassa-pressione circondano il costruito. In questo caso, l'allargarsi delle strade migliora le condizioni di ventilazione sia negli edifici che nelle strade.

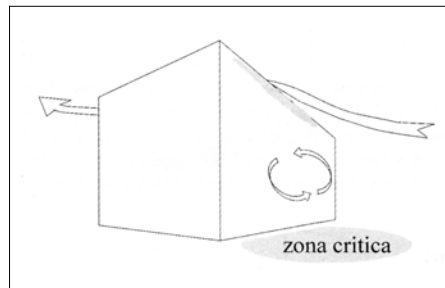
La desiderabilità di velocità del vento più alte o più basse dipende, ovviamente, dalle condizioni climatiche. In generale, nelle regioni caldo-secche, la protezione dal sole è più importante della ventilazione (richiesta spesso per le strade strette). Nelle regioni caldo-umide è vera la condizione opposta. Nei climi freddi, la protezione dal vento può essere uno degli obiettivi climatici principali del progetto.

Ventilazione e ambiente costruito

Di seguito si riporta una casistica di situazioni ricorrenti nell'organizzazione degli edifici e la descrizione degli effetti relativi alla ventilazione.

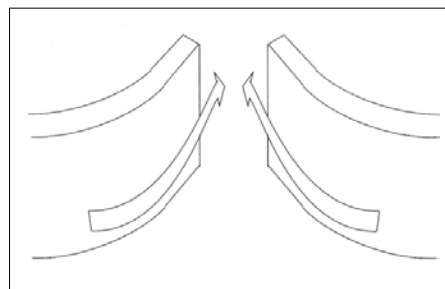
Effetto turbolenza

Si genera quando un edificio è più alto degli edifici circostanti. La pressione del vento che agisce sulla parte libera della facciata risulta maggiore rispetto a quella protetta dagli edifici adiacenti; tali differenze di pressione generano turbolenze particolarmente intense alla base dell'edificio.



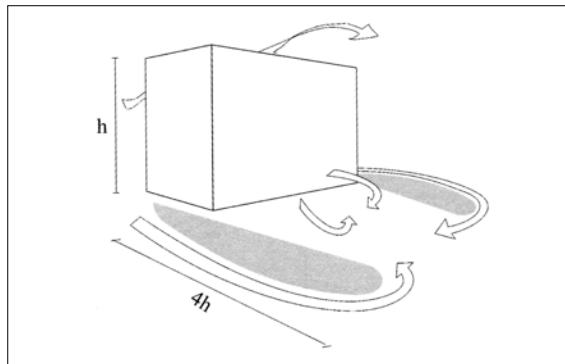
Flusso convogliato

La convergenza di due edifici con altezza e lunghezza rilevanti, convoglia la massa d'aria, costringendola a seguire una direzione obbligata. Tale effetto diventa particolarmente apprezzabile per edifici con altezza superiore ai 15 mt. e lunghezza degli stessi superiore ai 50 mt, mentre la larghezza del varco deve essere almeno pari alla metà dell'altezza degli edifici e non maggiore di quattro volte la stessa. Il fenomeno può essere accelerato quando il varco di entrata è costituito dalla adiacenza di fronti curvilinei.



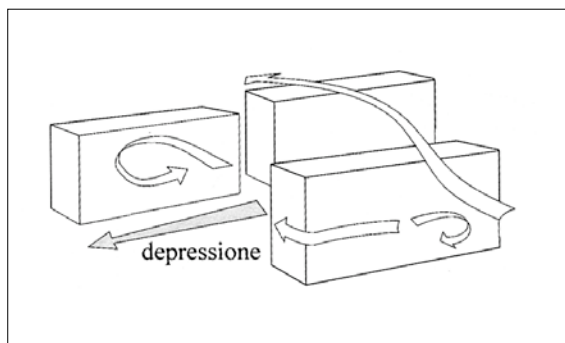
66 *Effetto traccia*

È caratterizzato da una turbolenza che si estende ai lati di un edificio su cui impatta la corrente d'aria. La zona interessata risulta tanto più estesa quanto più grande è l'angolo di incidenza con cui il vento impatta sulla barriera. L'effetto si accentua nelle zone ai lati dell'edificio, mentre risulta di minore entità nella parte centrale.



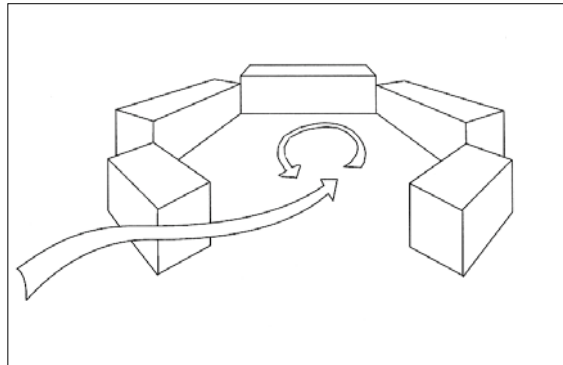
Flussi secondari

Il fenomeno è caratterizzato da fenomeni di depressione atmosferica che si generano quando il vento impatta su file parallele di edifici con altezza media uguale o inferiore a 15 metri e con interdistanza pari o minore all'altezza. Poiché le differenze di pressione tendono sempre ad eguagliarsi, si generano flussi d'aria trasversali che tendono ad incanalarsi negli spazi intermedi agli edifici e che risultano particolarmente sensibili al livello del suolo.



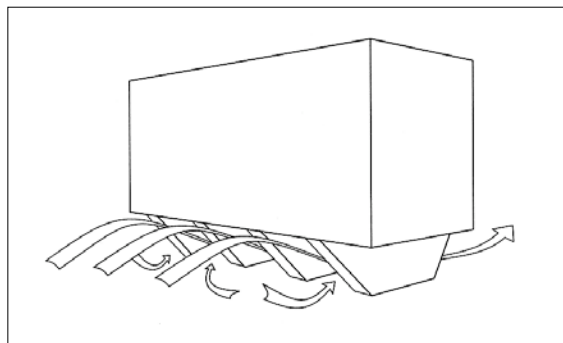
Effetto recinto

Il fenomeno si verifica quando il vento entra in aree delimitate da edifici, creando una circolazione del flusso d'aria che dipende dalle caratteristiche della maglia urbana e dalla intensità del vento. Tale fenomeno non necessariamente comporta fenomeni di discomfort, anzi può anche favorire la ventilazione a scala microclimatica.



Effetto tunnel

Il fenomeno si genera quando zone aventi diversa pressione sono messe in contatto attraverso aperture disposte sulle pareti di un edificio. L'incremento della velocità del flusso d'aria determina situazioni di discomfort che sono funzione delle caratteristiche dell'edificio, dell'intensità del vento e dell'angolo di incidenza. Il fenomeno è irrilevante quando il vento è tangente alla facciata.



68 L'impatto del fenomeno del riscaldamento urbano notturno sul comfort umano e sull'uso dell'energia

L'impatto del fenomeno del riscaldamento urbano notturno sul comfort e sulla salute degli abitanti, così come sul consumo energetico per il riscaldamento o per il raffrescamento degli edifici nell'area urbana, può essere notevolmente diverso in differenti regioni climatiche. Una temperatura urbana più alta sarà sempre bene accolta in inverno, eccetto per quelle regioni che sono calde durante tutto l'anno. Pertanto il riscaldamento urbano non dovrebbe essere sempre considerato un aspetto negativo delle modificazioni climatiche che si verificano in un'area urbana.

Un'analisi dettagliata dell'andamento annuale del clima regionale, inclusi i comportamenti diurni in estate e in inverno, è necessaria per valutare gli effetti più importanti del riscaldamento urbano sul comfort umano. A proposito delle caratteristiche diurne, bisogna ricordare che l'innalzamento della temperatura nelle aree urbane, rispetto al territorio circostante, si manifesta soprattutto durante le ore notturne. Nelle regioni calde questo fattore può aggravare gli aspetti negativi che interferiscono con il sonno e i suoi effetti sulla stanchezza e sulla salute.

Si dovrebbe anche fare una distinzione tra l'impatto del riscaldamento urbano sul comfort delle persone nell'ambiente esterno (per strada) e i suoi effetti sugli ambienti interni e sull'uso dell'energia negli edifici.

La temperatura invernale più alta manifestata con il riscaldamento urbano ha anche un impatto significativo sul consumo energetico per il riscaldamento. L'energia che gli edifici richiedono per il riscaldamento è più o meno proporzionale ai "gradi giorno" (DD) durante la stagione di riscaldamento.

Inoltre la temperatura urbana elevata normalmente riduce la richiesta di energia per il riscaldamento in proporzione alla riduzione dei DD nell'area urbana rispetto al territorio circostante.

Nelle regioni e nelle stagioni ove il riscaldamento è fornito solo nelle ore serali e notturne -consuetudine comune in molti paesi in via di sviluppo e anche sviluppati con inverni miti- la riduzione nell'uso di energia per il riscaldamento è notevolmente più grande della quantità calcolata sulla base dei DD.

Dato che il riscaldamento urbano è, in generale, un beneficio in inverno è un danno in estate, i suoi effetti complessivi sul comfort, sulla

salute e sul consumo energetico richiedono alcune valutazioni necessarie poiché certe decisioni progettuali possono aumentare o ridurre l'effetto del riscaldamento urbano, sia in estate che in inverno.

I punti seguenti sono significativi per tali valutazioni globali:

- per le persone all'esterno, è facile proteggersi dal freddo eccessivo con indumenti adatti. Per contro, vi è un limite (culturale e legale) alle possibilità di denudarsi quando l'ambiente è troppo caldo. In condizioni molto calde ogni indumento rimosso non elimina lo stress del riscaldamento, specialmente nei climi caldi e secchi;
- il riscaldamento è molto più comune e meno costoso del condizionamento dell'aria. Pertanto gli effetti negativi del surriscaldamento urbano in estate, per il comfort degli ambienti interni e per l'uso di energia, sono molto più significativi degli effetti benefici invernali.

In estate, ovviamente, il fenomeno dell'isola di calore urbana aggrava sempre il discomfort termico, sia all'interno che all'esterno. Nelle zone dove l'uso del condizionamento dell'aria è comune, l'isola di calore urbana fa anche incrementare la durata del funzionamento delle attrezzature e il consumo di energia.

Dato che la manifestazione principale dell'isola di calore urbana avviene durante le ore notturne, essa può avere un serio effetto sulle capacità di ristorarsi e di recuperare lo stress da calore.

Questo può provocare anche seri problemi di salute e, in casi estremi, causare tassi di mortalità più alti, soprattutto alle persone più anziane con problemi cardiovascolari. Tali tassi di mortalità più alti sono stati realmente dimostrati recentemente in diversi casi di ondate di calore in diversi paesi. Nei paesi in via di sviluppo, ove il riscaldamento in inverno e il condizionamento dell'aria in estate sono molto rari, la mortalità infantile può anche essere aggravata dallo stress termico, sia da caldo che da freddo.

La radiazione solare nelle aree urbane

La città ha un impatto forte sulle componenti ad onda-corta della quantità di radiazione netta per la presenza di inquinanti attivi per irraggiamento nell'aria e per gli scambi di irraggiamento della superficie.

Nel suo percorso attraverso lo strato di confine urbano, la radiazione

70 ad onda-corta entrante e la radiazione ad onda-corta riflessa dalla superficie della città sono soggette ad attenuazioni maggiori rispetto ai flussi equivalenti nel contesto rurale. La quantità ricevuta dalla superficie (il raggio diretto e il contributo diffuso, più la radiazione dispersa di ritorno) è tipicamente del 2-10 % più bassa in città. Per contro, i valori di albedo urbani nelle latitudini medie sono generalmente da 0.05 a 0.10 più bassi di quelli della campagna.

Le differenze urbano/rurale di radiazione netta ad onda-corta sono considerate piuttosto piccole. Qualsiasi differenza dipende dalla forza di attenuazione dell'inquinamento e dall'albedo.

L'albedo totale di un sistema urbano e quindi la sua abilità di assorbire la radiazione solare dipende dall'albedo dei materiali componenti e del loro assetto geometrico.

L'importanza della geometria è stata dimostrata attraverso osservazioni su modelli numerici e in scala dello scambio per irraggiamento del canyon. Tutti gli approcci mostrano che per edifici della stessa altezza l'albedo di una superficie irregolare è più basso di quello di un piano piatto composto dagli stessi materiali. Sembra anche che l'effetto cresca con la latitudine e sia più pronunciato nella stagione con il sole basso. Inoltre, esso cresce con il rapporto altezza-ampiezza (H/W) ed è più grande nei canyon E-O che in quelli orientati a N-S.

Sebbene minimizzando l'albedo cresce l'assorbanza del sistema totale per la radiazione solare, non è detto che le posizioni vicino al suolo del canyon ne traggano beneficio, poiché potrebbero essere in ombra. Infatti, certi assetti geometrici possono creare un'assorbanza inferiore rispetto a quella dei piani piatti.

Il limite relativo per l'accesso solare ai canyon delle strade dipende dal grado di penetrazione della radiazione nel solstizio di inverno. La penetrazione è necessaria per facilitare il guadagno dell'energia solare da parte delle pareti rivolte all'equatore, per fornire luce diurna agli interni degli edifici e per migliorare il comfort dei pedoni e sostenere il loro stato psicologico.

Dato che molte città di latitudine media sono spesso nuvolose in inverno, la quantità di radiazione diffusa per l'illuminamento naturale è importante. Il criterio convenzionale degli esperti dell'illuminamento diurno è che un H/W di 0.58 è appropriato per una latitudine di 45° . I rapporti corrispondenti a 40° e 50° sono 0.7 e 0.47.

Soleggiamento ed assetto del costruito

All'interno del tessuto urbano le condizioni del soleggiamento variano in funzione di forma e densità dell'aggregazione. Scegliendo ed opportunamente modulando tali parametri è possibile controllare apporto termico ed intensità delle radiazioni solari grazie all'effetto di mutua protezione e di ombreggiamento tra gli stessi edifici.

Forma del costruito

Insedimento lineare

Ha una direzione di sviluppo preferenziale rispetto alla quale gli edifici possono avere:

- orientamento Nord–Sud: consente notevoli apporti termici per le facciate a Sud, contrastando le dispersioni delle pareti a Nord, investite dai venti freddi invernali;
- orientamento Est–Ovest: non consente un buon apporto termico in inverno perché gli edifici sono irradiati solo mattina e pomeriggio, mentre in estate le temperature si mantengono alte per via dei venti caldi da Sud e dell'irraggiamento continuo.

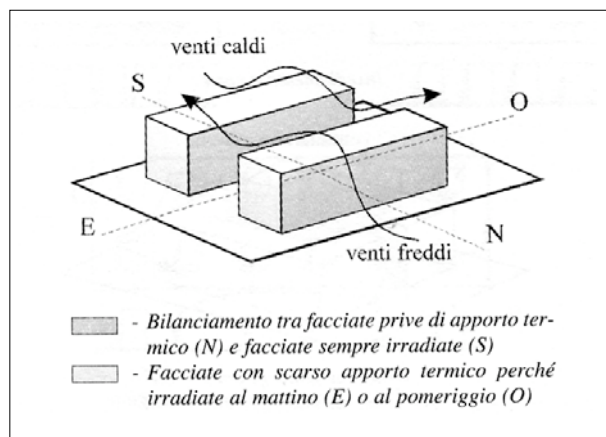


Figura 36.
Insedimento lineare

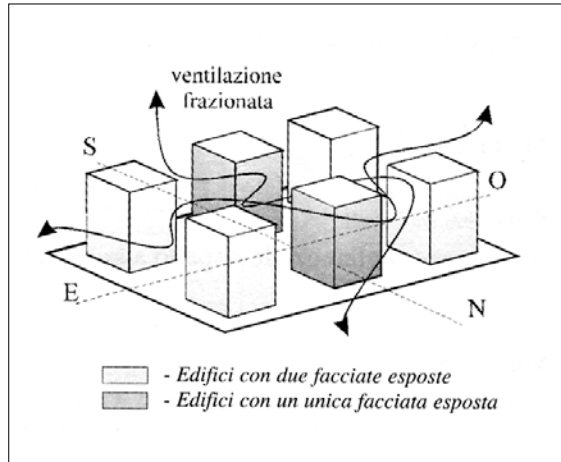


Figura 37.
Insediamento a scacchiera

Insediamento a scacchiera

È costituito da edifici simili disposti a distanze regolari. I più svantaggiati sono quelli centrali perché irradiati direttamente su una sola parete. Sono dunque consigliabili le disposizioni S ed E nei climi freddi e N-S in quelli caldi.

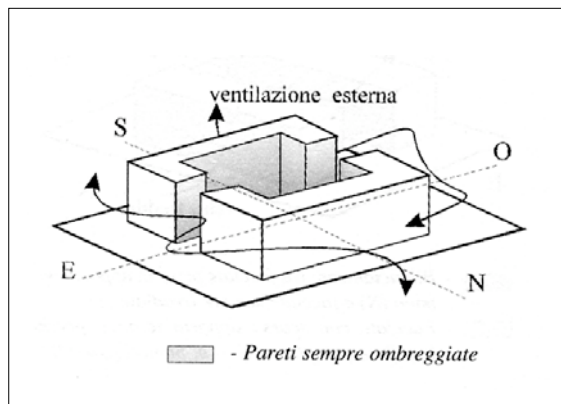


Figura 38.
Insediamento a corte

Insediamento a corte

La presenza di corti centrali all'interno di un insediamento consente di avere vaste aree ombreggiate. Non presenta un orientamento preferenziale, ma, per sfruttare al meglio l'ombreggiamento interno, è consigliabile nei climi caldi avere superfici chiuse all'esterno ed aperte verso l'interno, viceversa nei climi freddi.

L'involucro solare (solar envelope)

Un dibattito continuo su come garantire l'accesso del sole si è tradotto in conseguenze ingenuamente o inadeguatamente indirizzate per definire la forma urbana. La nozione secondo la quale l'accesso al sole ha "diritti" antiurbani e impropri ha correntemente guadagnato credibilità senza una indagine compiuta sulle sue implicazioni sul progetto e la crescita delle città. Dire che l'accesso del sole può distruggere le città, perché non può permettere l'erezione di un edificato alto, consentendo solo realizzazioni basse, introduce un argomento ostico per la qualità urbana.

L'accesso del sole, quando raggiunto usando l'involucro solare, automaticamente non implica l'eliminazione degli edifici alti e nemmeno influisce sulla densità suburbana.

Una ricerca approfondita ha dimostrato che si possono raggiungere rapporti dell'area del suolo alti 7.5 e una densità residenziale oltre le 100 unità abitative per acro (du/a). Questa quantità supera notevolmente le densità suburbane e corrispon-

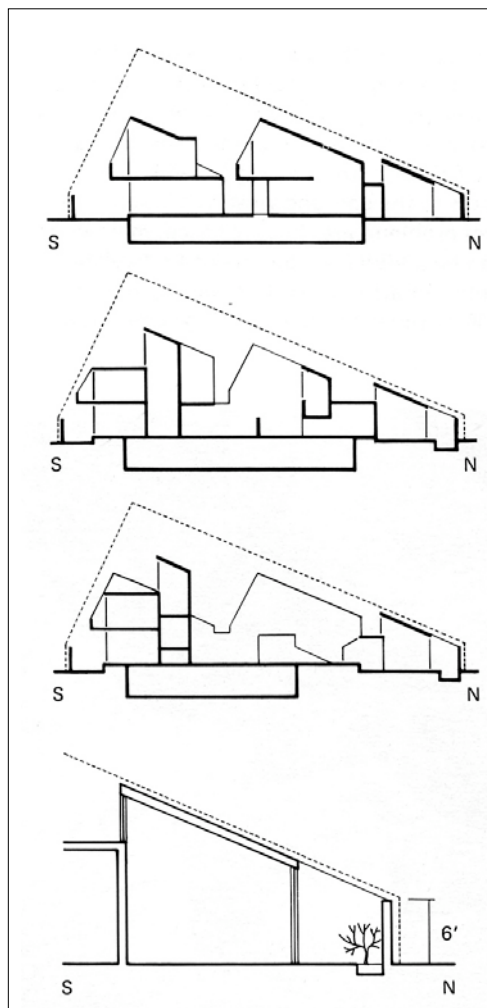


Figura 39. Applicazione del "solar envelope"

74 derebbe alle densità di molte aree urbane negli U.S. ad eccezione di alcuni centri molto elevati come Manhattan.

L'involucro solare non abolisce gli edifici alti ma piuttosto ha un impatto scalare sulla crescita urbana. La densità può crescere nel tempo, in virtù dei valori pubblici, ma si evitano violente distruzioni della scala della città. Quando esistono già edifici con sviluppo molto elevato, l'involucro solare può essere usato per tutelare l'accesso solare ai livelli di copertura e ai piani più alti. La nuova costruzione viene conformata e proporzionata con riferimento a quella esistente.

L'involucro solare comporta un obbligo morale implicito di usare il sole e di relazionarsi formalmente con esso. Il progettista è incoraggiato a differenziare il costruito e la forma urbana con una risposta grafica all'orientamento. Un lato della costruzione non avrà lo stesso aspetto di un altro lato e un lato della strada non avrà lo stesso aspetto di un altro lato. Gli sviluppi tenderanno ad essere più bassi sul lato sud di una strada rispetto a quelli sul lato nord per assicurare una maggiore esposizione a sud. Le strade prendono un carattere direzionale nel quale si riconosce chiaramente l'orientamento.

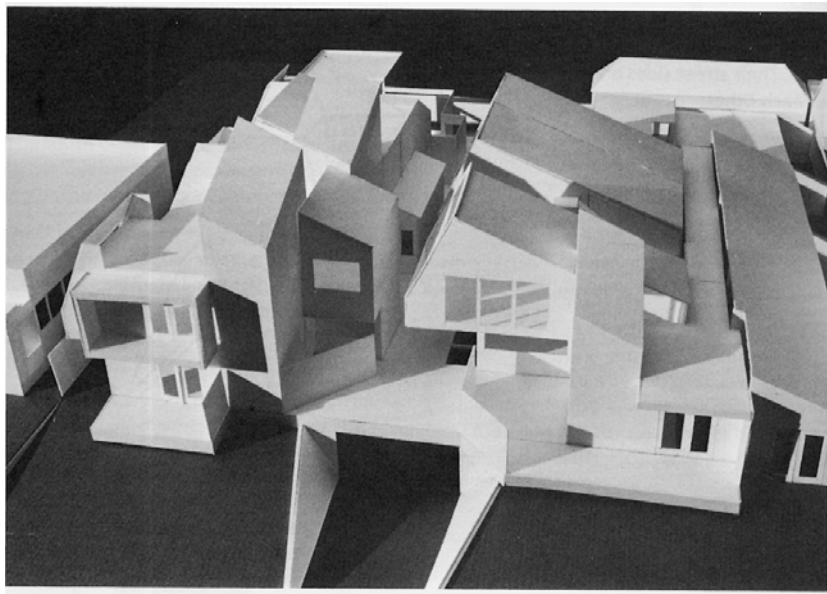


Figura 40. Plastico di isolato derivante dall'applicazione del "solar envelope".

L'involucro solare richiede una strategia progettuale basata sui ritmi naturali. L'illuminamento solare è assicurato nei limiti dell'involucro, donde i progettisti possono usare le direzioni e le proprietà cangianti della luce senza temere che una costruzione più alta un giorno cancellerà le loro idee. Esiste una possibilità per concepire l'architettura in termini diversi da quelli statistici della forma e dello spazio. E' questa insinuazione di nuova estetica, oltre al bisogno di capire come sviluppare i limiti dell'involucro solare, che ha motivato la ricerca dell'USC's Solar Studio.

L'accesso al sole

L'involucro solare è una costruzione dello spazio e del tempo: i limiti fisici delle proprietà dell'intorno e il periodo assicurato per l'accesso solare in essi. Il modo nel quale queste misure sono stabilite definisce la dimensione e la forma finali dell'involucro.

In primo luogo, l'involucro solare evita ombre inaccettabili sopra i limiti designati per le proprietà e le linee di confine; questi limiti sono chiamati *recinti d'ombra*.

L'altezza dei recinti d'ombra può essere definita in risposta a qualsiasi numero di elementi circostanti differenti quali recinti privati, finestre o muri di partizione tra proprietà. La loro altezza può essere definita anche dall'uso dei terreni adiacenti con, per esempio, abitazioni che richiedono recinti d'ombra più bassi rispetto a quelli usati per attività commerciali o industriali. Differenti altezze dei recinti d'ombra influenzeranno la forma e la dimensione dell'involucro solare.

In secondo luogo, l'involucro fornisce il volume più grande nelle limitazioni del tempo, chiamate *tagli dei tempi*. L'involucro realizza tale questione definendo il contenitore teorico di spazio più grande che non farà ombra tra specifici periodi del giorno. Periodi più grandi dell'accesso solare assicurato risulteranno più costrittivi per l'involucro solare. I tagli dei tempi indicati nella primissima mattinata e nel tardo pomeriggio definiranno volumi più piccoli di quelli derivanti da tempi individuati nella tarda mattinata e nel primo pomeriggio.

76 **I tipi di strada**

La dimensione e la forma dell'involucro solare sono largamente influenzate dai tipi di strada dell'assetto urbano. Negli Stati Uniti, questi tipi rientrano generalmente nelle indicazioni del U.S. Land Ordinance del 1785 che ha definito la geometria della maggior parte del territorio tra l'Ohio e l'Oceano Pacifico. Normalmente, in ogni parte del Midwest e dell'ovest, le strade seguono i punti cardinali cosicché si estendono blocchi costruiti rettangolari nelle direzioni est-ovest e nord-sud. Ma a Los Angeles, dove è stata effettuata la maggior parte della ricerca sull'involucro solare, ci sono due griglie di strade: la US Land Ordinance e la griglia diagonale più antica dell'assetto originale spagnolo, El Pueblo de la Reina di Los Angeles.

La dimensione dell'involucro solare, e quindi lo sviluppo potenziale, varia con l'orientamento della strada. Generalmente, un'altezza maggiore dell'involucro è ottenibile con i due possibili orientamenti dei blocchi nella griglia US mentre nella griglia spagnola è ottenibile un volume minore. Questo è stato un problema affrontato specialmente a Los Angeles.

Anche la forma dell'involucro solare varia con l'orientamento della strada potenziandone così la leggibilità. Kevin Lynch ha detto, «Perdersi è un'esperienza piuttosto rara, ma lascia che l'inconveniente del disorientamento una volta accada, e il senso di ansia ed anche di terrore che si accompagna ci rivela quanto esso sia strettamente legato al nostro senso di equilibrio e al nostro benessere». I sentieri, i quartieri e le direzioni prendono un significato percettivo chiaro quando l'involucro solare diventa parte strutturante il progetto urbano.

Senza l'accesso del sole, non possiamo usarlo. L'involucro solare viene proposto come un dispositivo per lo zoning per ottenere l'accesso del sole regolando lo sviluppo nei limiti derivanti dal movimento relativo del sole. Gli edifici nei suoi limiti non ombreggeranno le proprietà circostanti durante i periodi critici del giorno e dell'anno. L'assicurato accesso del sole quindi offre l'opportunità di rimpiazzare fonti energetiche irrealizzabili e di migliorare la qualità della vita urbana. L'assicurato illuminamento solare implica anche ritmi come una strategia innovativa della politica di zoning e progetto: un modo per far avvicinare il senso di natura nei nostri edifici e negli spazi urbani.

Strategie energetiche per gli edifici urbani

L'implementazione delle strategie di conservazione energetica in tutte le categorie di edifici: residenze, uffici, centri commerciali, ospedali o scuole, sia nuovi che esistenti, in un ambiente urbano sembra essere un problema serio, la soluzione del quale richiede una gestione attenta. Questa difficoltà è causata dalla condizione ricorrente del contesto urbano costruito delle città, riferita alla loro pianificazione e alla loro frequente espansione caotica, che ha preso piede senza tener conto dei principi del progetto energeticamente consapevole sulla scala urbana.

Alcuni dei fattori che usualmente hanno un effetto negativo sul progetto e sulla costruzione dell'edificato urbano a basso consumo energetico sono:

- il disegno della rete stradale di base con un orientamento specifico; questo disegno influisce sull'ubicazione degli edifici su entrambi i lati della strada, conferendo loro un orientamento che, in molti casi, non è adatto all'implementazione delle tecniche per la conservazione dell'energia e del fattore solare;
- la relazione tra l'altezza di un edificio e l'ampiezza della strada, che causa un ombreggiatura eccessiva e quindi ostacola l'accesso diretto della luce del sole negli spazi vissuti;
- la relazione tra esposizione della facciata e profondità del lotto, che può determinare l'esposizione a sud di molti spazi interni.
- icentri urbani densamente costruiti, che provocano l'ostruzione del flusso d'aria e della luce del sole attraverso le pareti degli edifici alti;
- la carenza di verde, che è stato sostituito dal cemento e dall'asfalto (o pietrisco/catrame);
- l'ombreggiatura eccessiva causata dagli edifici adiacenti e da altri elementi del paesaggio, che sono difficili da evitare;
- le regole e gli indici per costruire che spesso determinano le dimensioni di un edificio e quindi la sua forma geometrica e la sua posizione sul lotto.

Nonostante tutti gli aspetti negativi dell'ambiente urbano e dei suoi

78 edifici, ci sono ancora molte possibilità per intervenire sulla conservazione energetica, che mitigano anche l'effetto serra, filtrano gli agenti inquinanti e mascherano il rumore.

Bisogna rammentare che i centri urbani presentano condizioni climatiche più miti rispetto ai siti suburbani o rurali (temperature più alte, venti meno intensi), derivanti dall'effetto dell'isola di calore. Così, nonostante gli effetti negativi dei fattori menzionati prima, soprattutto le difficoltà che si incontrano nella diffusione dell'architettura bioclimatica negli edifici urbani, il mite microclima urbano compensa nel periodo invernale gli elementi negativi (orientamento inappropriato, alta densità, ombra, ecc.). Se interveniamo correttamente nel progetto dell'assetto, si raggiungeranno condizioni climatiche migliori non solo in inverno ma, specialmente, durante l'estate, quando seri problemi di surriscaldamento possono verificarsi nei climi caldi. Si usano un gran numero di installazioni di condizionamento dell'aria, soprattutto nelle aree urbane a sud, per risolvere i problemi creati dal progetto energetico improprio degli edifici. Questo purtroppo comporta carichi di raffrescamento elevati durante l'estate e un consumo eccessivo di energia elettrica, che fa aumentare anche il picco della richiesta di energia e crea insufficienze e black-out nella rete di trasporto energetico. Queste strategie restituiscono un ambiente interno artificiale, isolato e controllato meccanicamente, che è ovviamente poco ospitale per gli utenti.

Nel processo progettuale, l'architetto dovrebbe cominciare con il disegno del sito, il posizionamento dell'edificio nel lotto, l'ambientazione urbanistica, la forma dell'edificio -che è peraltro è strettamente collegata all'assetto funzionale degli spazi interni - la costruzione degli elementi esterni, la scelta dei materiali, ecc. Le fasi iniziali e più importanti, specialmente per il progetto degli edifici in un ambiente urbano, sono lo studio del sito, il calcolo degli spazi tra gli edifici per evitare l'ombreggiatura eccessiva e la distribuzione delle piantumazioni esterne, dei frangivento, la creazione di canali di ventilazione ecc.

Il progetto del sito

Il primo problema di base che il progettista deve affrontare nel contesto urbano e che egli/ella deve ubicare l'edificio in un *ambiente costruito già esistente*. Il caso di un lotto vuoto è molto raro, così è diffici-

le proporre soluzioni, per assicurare che gli edifici affacceranno a sud, e per evitare l'ombreggiatura eccessiva da parte degli edifici adiacenti, come suggerisce il progetto energeticamente consapevole, così da permettere l'accesso solare negli spazi d'uso.

Nei nuovi insediamenti ci sono meno problemi e più possibilità di implementare le strategie di risparmio energetico.

Il secondo problema di base che molto spesso emerge nei tessuti già costruiti delle città è relativo al disegno delle strade. Questo, di regola, influenza l'orientamento principale degli edifici e dello spazio tra loro. Esso inoltre influenza l'illuminazione diurna naturale e l'accesso solare negli spazi interni, come anche l'ombreggiatura degli edifici e la ventilazione naturale, che dipende dalle caratteristiche del flusso d'aria nello

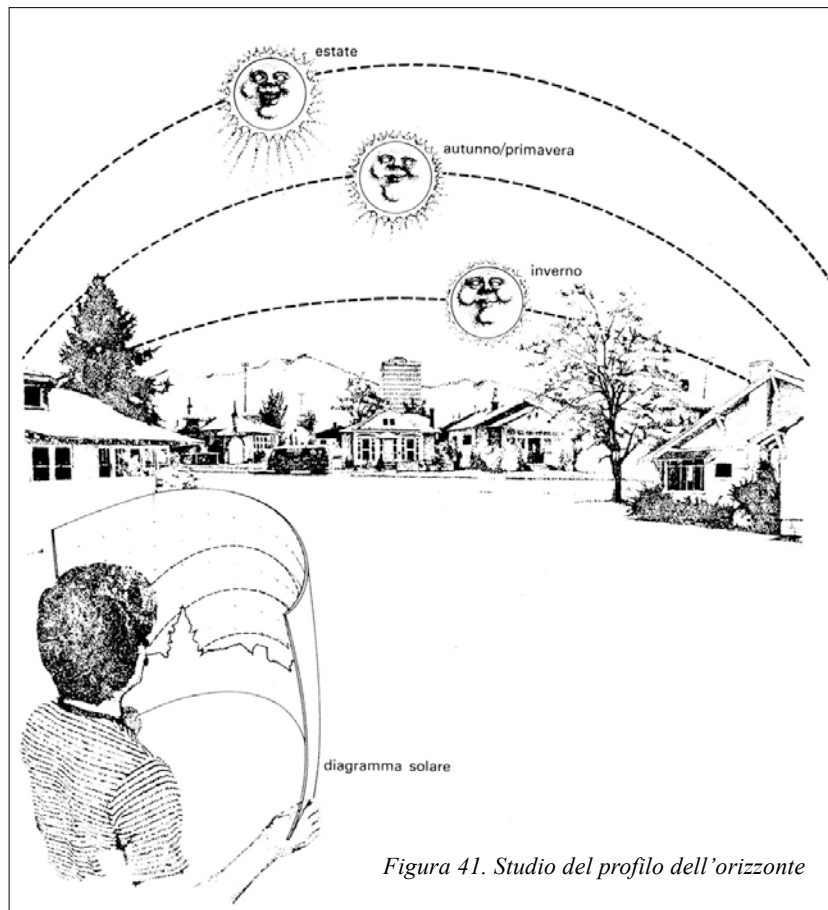


Figura 41. Studio del profilo dell'orizzonte

80 strato della calotta.

Generalmente tutte le soluzioni concernenti il posizionamento degli edifici in un sito presuppongono uno studio di illuminazione-ombreggiatura solare, e, come appena menzionato, un trattamento equivalente di tutti gli edifici del blocco, tenendo ovviamente conto degli assi di circolazione e dell'orientamento del lotto.

L'assetto parallelo delle strade lungo l'asse est-ovest è auspicabile. Questa soluzione fornisce agli edifici la possibilità di essere orientati a sud.

Nei siti urbani il rischio di una ombreggiatura eccessiva da parte degli edifici adiacenti è piuttosto alto, eliminando l'impatto positivo dell'orientamento a sud (guadagno solare, illuminazione diurna). Se possibile calcolare la distanza minima tra gli edifici così da evitare l'ombreggiatura eccessiva e permettere l'accesso del sole invernale negli spazi interni.

La distanza richiesta tra gli edifici per evitare l'ombreggiatura eccessiva cresce in proporzione alla latitudine geografica del luogo, ove l'altitudine solare decresce di conseguenza. La distanza richiesta cresce anche al crescere dell'altezza degli edifici vicini. Per esempio, nelle latitudini a sud possiamo ubicare gli edifici più vicini l'uno all'altro o possiamo mantenere le stesse distanze delle latitudini a nord ed aumentare l'altezza degli edifici.

Se alcuni piani nelle elevazioni a sud risultano con un'ombreggiatura eccessiva da parte degli altri edifici, allora questi livelli dovrebbero essere usati per attività secondarie (negozi, depositi ecc.) che hanno un programma di operatività diurna più corto e forse richiedono una temperatura più bassa (non residenziale). In questo caso, si raccomanda

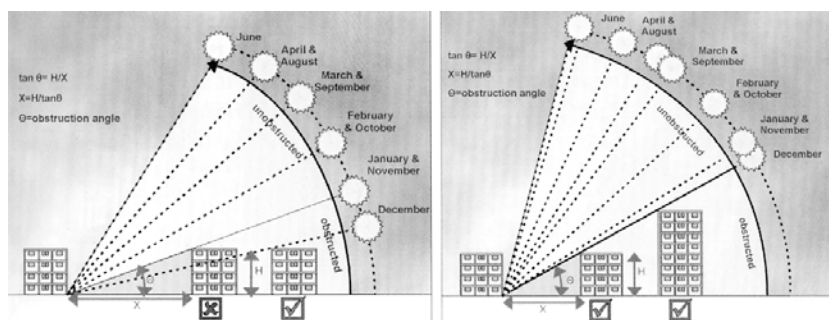


Figura 42. Incidenza dei raggi solari in funzione dell'altezza degli edifici.

che due destinazioni d'uso differenti siano termicamente separate isolando i solai tra di esse, per eliminare il flusso di calore dall'uso principale a quello secondario. Si dovrebbe fornire anche un differente impianto di riscaldamento per ogni uso, cosicché gli utenti possono spegnere il riscaldamento degli spazi nei periodi durante i quali questi non sono in uso.

Per i piani che non hanno problemi di accesso del sole in inverno, per il riscaldamento, il raffrescamento o l'illuminazione diurna, si considerano i sistemi solari passivi.

Le considerazioni sulla pianificazione del sito che seguono, per l'organizzazione interna dei singoli edifici, possono essere significative per la riduzione della domanda di energia.

L'organizzazione urbanistica per ottimizzare le condizioni microclimatiche

Nella prima fase del progetto degli edifici nell'ambiente urbano, è necessario includere l'organizzazione urbanistica dell'area circostante, assumendo come criterio base il miglioramento delle condizioni climatiche esterne, sia in inverno sia in estate. L'ombreggiatura e il raffrescamento per evaporazione che le piantumazioni possono offrire, come anche le superfici d'acqua e i canali di ventilazione attraverso barriere naturali e artificiali, riducono l'effetto della radiazione solare in estate mentre in inverno riparano l'edificio.

SI

- Un'elevazione dell'edificio deve avere un orientamento a sud. La massima deviazione accettabile è $\pm 25^\circ$;
- l'edificio deve svilupparsi secondo l'asse est-ovest per massimizzare la lunghezza dell'elevazione a sud;
- se sia gli edifici alti che quelli bassi devono essere destinati ad abitazioni, gli edifici alti dovrebbero essere posizionati sul lato nord per evitare di ombreggiare quelli più bassi;
- ubicare gli edifici più vicino possibile al lato nord del lotto. In questo modo lo spazio antistante il costruito urbano aumenta, l'accesso solare agli spazi a sud è facilitato e, ovviamente, la superficie del giardino è più grande sul lato favorevole del sito, in termini di

- 82 condizioni microclimatiche;
- cercare di trovare l'angolo di altitudine solare della regione in esame per il 21 dicembre e calcolare gli spazi minimi accettabili tra gli edifici per limitare l'ombreggiatura eccessiva il più possibile e permettere l'accesso del sole invernale negli spazi interni;
 - l'ampiezza delle strade, la pianificazione urbana e l'ambiente costruito dovrebbero essere considerati nei termini delle regole e degli indici nazionali principali e dovrebbe essere imposta la riduzione dell'altezza massima degli edifici.

NO

- Evitare i tipi di lotto edilizio che, nell'ambiente urbano, possono causare problemi nell'orientamento della costruzione. Normalmente questi tipi di lotto hanno un'area piccola, sono irregolari nella forma e localizzati in zone densamente costruite;
- evitare lotti su strade strette con edifici alti;
- evitare lotti su strade con asse nord-sud. Come detto prima, in molti casi, in un contesto urbano dobbiamo ubicare l'edificio in un ambiente costruito esistente e le possibilità di intervento sono estremamente limitate. Se ci si deve confrontare con un orientamento est-ovest, bisogna guardare le sezioni seguenti sulle strategie di risparmio energetico e raffrescamento solare passivo, mentre per un orientamento a nord si devono applicare solo le strategie di risparmio energetico.

L'ubicazione e il progetto del sito

Nei centri metropolitani delle grandi città, ove edifici di tutti i tipi, uffici, centri commerciali, attrezzature alberghiere e di intrattenimenti ecc., sono richieste, la densità del costruito è al suo livello più alto e lo spazio è sovrasfruttato. E' pertanto impossibile venire incontro ai bisogni di spazi liberi, piazze e parchi, mentre l'ombreggiatura e i relativi problemi dovuti agli edifici alti e alle strade strette sono abbondantemente incrementati.

Edifici molto vicini gli uni agli altri in uno sviluppo lineare riducono, in molti casi, l'impatto positivo del movimento del vento indisturbato, mentre gli assetti in forma di scacchiera fanno decrescere l'ombra del vento e così possono far incrementare il potenziale per il raffrescamento naturale. La scelta finale dipende dalle condizioni climatiche

esterne dominanti.

L'assetto degli edifici di tipo irregolare è preferibile e le distanze corte o le strade strette tra loro dovrebbero essere evitate. Un blocco ininterrotto di edifici forma una parete solida, che influisce drammaticamente sulla circolazione e sul rinnovo dell'aria. Questo fenomeno incrementa anche l'effetto dell'isola di calore, creando discomfort nell'ambiente interno durante l'estate, derivante dal decremento del raffrescamento naturale degli edifici.

Edifici di altezza simile, orientati verso sud, insieme con un piano urbano ed un disegno del sito appropriati, contribuiscono notevolmente ad interventi ambientali ed energetici di successo, conferendo grosse possibilità di progettare una costruzione appropriata ed energeticamente efficiente.

Vegetazione e frangivento

Vegetazione

Per le ragioni discusse prima, la carenza di spazi verdi nelle aree urbane influisce di molto non solo sulle vedute. Le temperature monitorate nelle aree senza vegetazione sono da 5 a 12 K più alte nel periodo caldo rispetto alle aree vicine suburbane o rurali. Uno studio dell'Università di Atene ha desunto che la richiesta di energia per il raffrescamento di un edificio nel centro di Atene è circa il doppio di quella per un edificio nella campagna vicina. Soluzioni soddisfacenti a tale problema comprendono la realizzazione di molte piccole aree verdi, che sono più efficaci di un'unica grande area piantumata.

Nell'area vicina all'edificio l'area piantumata aiuta a creare condizioni microclimatiche migliori ed effetti e influisce positivamente su:

- il bilancio energetico annuale dell'edificio stesso, incrementando la protezione dal sole e dal vento, riducendo la temperatura dell'ambiente urbano e quindi migliorando il comfort interno durante l'estate e mitigando l'effetto serra;
- i livelli di concentrazione dell'inquinamento;
- la qualità dell'aria interna;
- i livelli di inquinamento acustico.

Nel contesto urbano, la giusta scelta della vegetazione, include il tipo, la forma e l'ubicazione della flora come anche la corretta colloca-

84 zione e dimensione delle aree piantumate, è pertanto importante, produrre un effetto positivo sia durante l'estate sia durante l'inverno.

Alcuni accorgimenti nella scelta e nell'ubicazione della vegetazione sugli o vicino agli edifici dovrebbero, comunque, essere presi per evitare danni strutturali.

Gli alberi sempreverdi posti vicino alle facciate a nord di un edificio incrementano la protezione termica, compatibilmente con la ventilazione ambientale e le caratteristiche termiche dell'involucro dell'edificio.

Gli alberi a foglie caduche sul lato sud di un edificio offrono una protezione naturale dalla radiazione solare e un raffrescamento per evaporazione durante l'estate, mentre allo stesso tempo essi consentono l'accesso solare negli spazi interni in inverno. Inoltre, gli alberi e l'erba, o altre piante per ricoprire il terreno, influenzano positivamente le condizioni microclimatiche perché assorbono una grande quantità di radiazione solare, aiutando a mantenere l'aria e il terreno sotto di essi freschi, mentre l'evapotraspirazione porta ad ulteriori riduzioni delle temperature esterne.

Frangivento

Il progetto di un'area intorno ad un edificio (l'esistenza o la piantumazione di alberi, cespugli o altre piante e barriere in corrispondenza delle aperture dell'edificio) crea delle aree di alta e bassa pressione, influenzando così i tipi di flusso e la velocità del vento. E' possibile incrementare la velocità del flusso d'aria verso l'interno dell'edificio o

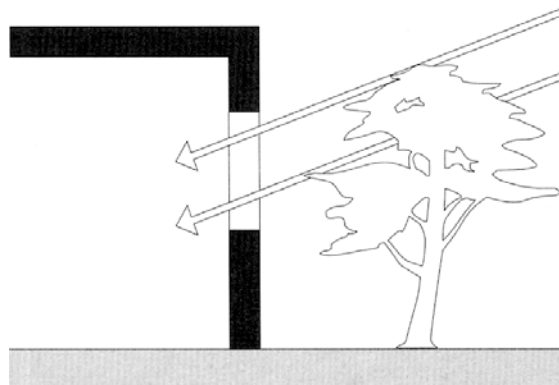


Figura 43. Schermature vegetali.

attraverso di esso, o dividere la corrente dell'aria indirizzando parte di essa attraverso l'edificio e parte sopra di esso, costruendo un recinto o una siepe intorno all'edificio.

La combinazione di differenti frangivento (muri o alberi bassi o alti) e la loro distanza dall'edificio possono produrre differenti risultati (migliorare la ventilazione trasversale, creare una zona calma riparata dietro di esso, ecc.).

I vuoti nei frangivento, le aperture tra gli edifici e le aperture tra la base e le chiome degli alberi possono creare canali di ventilazione, che incrementano la velocità del vento di circa il 20%.

Superfici d'acqua

Insieme con la vegetazione e con le differenti tecniche che influiscono sulla temperatura esterna e definiscono l'andamento e la intensità del vento, altre tecniche di definizione del paesaggio (o di arredo urbano) includono l'uso di poz-

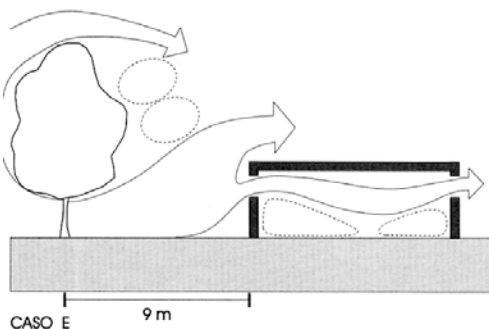
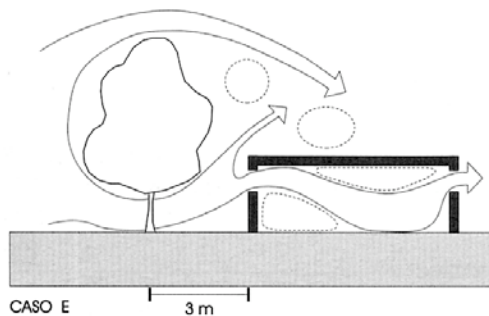
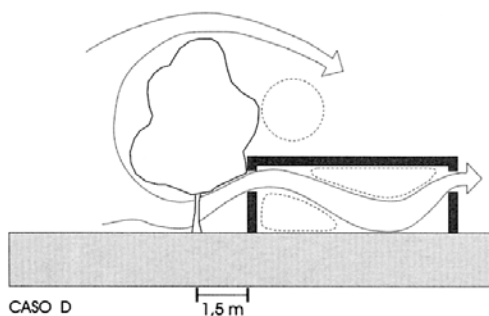


Figura 44.
Ventilazione degli edifici e schermature frangivento.

86 ze d'acqua (laghetti), ruscelli e cascate per il raffrescamento per evaporazione. Queste tecniche dovrebbero essere adottate nei climi caldi e secchi.

L'utilizzo delle strategie per il raffrescamento esterno per evaporazione migliora le condizioni esterne di comfort facendo decrescere la temperatura dell'aria intorno all'edificio. Per effetto diretto, le temperature dell'aria interna, e conseguentemente i carichi di raffrescamento interno, sono più bassi.

Albedo della superficie

I materiali superficiali con un alto indice di albedo (capacità riflettente) rispetto alla radiazione solare riducono la quantità di energia assorbita attraverso gli involucri dell'edificato e le strutture urbane e mantengono la loro superficie più fresca. I materiali con emissività alte sono buoni emittenti di energia ad onde-lunghe ed effettivamente rilasciano l'energia assorbita come radiazione ad onda-corta. Le temperature superficiali più alte contribuiscono a far decrescere la temperatura dell'aria dell'ambiente, poiché l'intensità del calore per convezione da una superficie più fredda è più bassa. Tali riduzioni di temperatura possono avere impatti significativi sul consumo dell'energia per il raffrescamento nelle aree urbane, fatto di particolare importanza nelle città con climi caldi.

La forma dell'edificio

La scelta di un edificio conservativo (chiuso) o selettivo (aperto)

La decisione tra queste due scelte dipende dall'orientamento principale dell'edificato urbano, dalle condizioni climatiche, dalla destinazione d'uso dell'edificio (ufficio, residenza, centro commerciale, ecc.) e da altri criteri di progetto, quali la vista, la sicurezza, il rumore, i costi di costruzione, ecc. Entrambi le strategie possono portare alla stessa quantità di consumo energetico attraverso l'enfatizzazione del risparmio energetico e/o le tecniche solari passive per il riscaldamento, per il raffrescamento naturale e per l'illuminazione diurna. L'involucro si apre per permettere un contatto visivo e fisico con l'esterno e una interazione controllata con i cambi stagionali naturali.

Le considerazioni seguenti sono necessarie per fare tale scelta.

87

SI

- Quando l'orientamento principale della facciata dell'edificio rientra tra $\pm 25^\circ$ a sud, allora una forma selettiva-aperta con grandi superfici vetrate (finestre o muri solari) dovrebbe essere scelta per prendere i vantaggi dei guadagni solari termici;
- se per qualche ragione (un orientamento a est, a ovest o a nord, la vista, la sicurezza, ecc.) si sceglie forma conservativa-chiusa, allora è necessario compensare i guadagni solari termici limitati riducendo le perdite per trasmissione dell'involucro dell'edificio (incrementare l'isolamento degli elementi dell'edificio, costruire un edificio compatto con un basso rapporto area/volume).

NO

- Una forma selettiva non dovrebbe essere scelta quando l'edificio è orientato a nord il che non permette l'accesso del sole o quando esso crea problemi di surriscaldamento durante l'estate (orientamento a est o a ovest);
- si sa bene che un edificio selettivo costa più di uno conservativo (il costo delle vetrate è tre volte più lato di quello delle strutture murarie). Se l'energia solare non è utilizzata, o se il programma operativo dell'edificio non è continuo, il che significa poco risparmio energetico, allora il periodo per ammortizzare i costi addizionali è notevolmente incrementato.

In tutti i suddetti casi scegliere una forma conservativa, e determinare la dimensione delle aperture, tenendo conto della richiesta di illuminazione diurna e di ventilazione naturale.

Gli aspetti positivi e negativi di un edificio di tipo selettivo sono i seguenti:

SI

- Scegliere questa forma solo se è garantito l'orientamento a sud;
- massimizzare l'elevazione a sud per la captazione solare e minimizzare le aree delle superfici esterne rimanenti;
- questa forma dovrebbe essere applicata in edifici urbani con un

- 88 programma di operatività regolare nell'uso;
- studiare l'ombreggiatura eccessiva derivante dagli edifici sul lato opposto della strada;
 - considerare la possibilità di integrare nell'involucro dell'edificio sistemi solari attivi e/o passivi in combinazione con gli elementi della costruzione con un'alta capacità termica;
 - piantare alberi a foglie caduche di fronte alla facciata. I primi tre-quattro piani potrebbero essere in ombra in estate. Inoltre, usare persiane orientabili o aggetti fissi per controllare la luce del sole sulle finestre orientate a sud;
 - fornire l'isolamento notturno dei pannelli vetrati per il periodo invernale e per il sistema solare passivo, se esiste;
 - usare vetrate avanzate (vetrate a basso-emissive, finestre con un bassa conducibilità ed alta trasmittanza solare totale) ed un forte isolamento termico per l'involucro dell'edificio, per eliminare le perdite di calore e conservare i guadagni di riscaldamento solare negli spazi interni per un lungo periodo di tempo;
 - il tetto potrebbe essere fornito di lucernai per la luce diurna, per la ventilazione e per il raffrescamento naturale durante l'estate.

NO

- Evitare aperture con pannelli vetrati semplici;
- evitare pannelli vetrati di colore scuro e di tipo riflettente. Questo tipo di vetrate è raccomandato per le esposizioni a ovest perché offre protezione dalla radiazione solare durante l'estate e quindi aiuta ad evitare il surriscaldamento;
- evitare un'ombreggiatura eccessiva;
- evitare ponti termici nell'involucro esterno dell'edificio;
- evitare che l'edificio abbia una grande profondità per assicurare l'illuminazione diurna di tutti gli spazi interni.

Gli aspetti positivi e negativi di un edificio di tipo conservativo sono i seguenti:

SI

- Rinforzare l'isolamento termico degli elementi costruttivi esterni per eliminare le perdite termiche e trovare una forma con un basso rapporto area/volume;

- usare i doppi vetri o, quando è possibile, speciali vetri isolanti termicamente con un basso valore di conducibilità;
- dimensionare le aperture cosicché siano soddisfatti i bisogni di luce diurna e di ventilazione trasversale per il raffrescamento naturale.

NO

- Evitare pannelli vetrati semplici;
- evitare ponti termici nell'involucro esterno dell'edificio.

Composizione architettonica

Per un dato volume riscaldato e per un'area di superficie territoriale ci possono essere numerose forme di edifici, che dipendono dai progettisti e dalle loro idee architettoniche, come anche da vari fattori esterni (area del lotto, privacy, vista, ecc.).

Da un punto di vista del risparmio energetico, le differenti tipologie di appartamenti determinano il diverso comportamento energetico di ogni edificio se si assume che tutti gli altri parametri rimangono costanti (area riscaldata, volume riscaldato, temperatura dell'aria interna, sistema costruttivo, programma d'uso, ecc.). Quindi, la forma dell'edificio costituisce uno dei fattori più importanti, nel determinare il suo consumo energetico finale. La forma dell'edificio in relazione alla posizione e alla dimensione delle sue aperture può enormemente influire sul bilancio termico dell'edificio, dato che essa determina i guadagni solari termici, come anche le perdite termiche attraverso l'involucro esterno. Gli obiettivi progettuali generali sono i seguenti:

SI

- Ridurre attraverso la forma l'esposizione dell'edificio ai venti dominanti per minimizzare i loro effetti negativi;
- mantenere la forma dell'edificio il più compatta possibile, così da minimizzare l'esposizione degli elementi costruttivi esterni agli agenti climatici durante l'estate e l'inverno;
- usare le schermature come ulteriori mezzi di controllo della perdita del calore attraverso l'involucro edilizio;
- l'edificio dovrebbe essere in contatto diretto con il suolo per beneficiare delle capacità termiche del terreno;

- 90
- nelle unità isolate, e in generale nelle unità che hanno una grande superficie esterna, l'isolamento dell'edificio dovrebbe essere incrementato. Lo scopo è di compensare le alte perdite di calore dell'involucro raggiungendo gli stessi livelli di consumo energetico degli edifici compatti;
 - estendere l'edificio sull'asse est-ovest per massimizzare la facciata a sud;
 - cercare di esporre tutti gli appartamenti al sole. Con questo accorgimento, tutti gli appartamenti avranno anche la ventilazione trasversale e inoltre saranno raffrescati naturalmente durante i mesi estivi.

NO

- Evitare forme di edifici che causano un'ombreggiatura eccessiva;
- non trascurare la protezione dalla luce solare diretta degli edifici urbani con alti guadagni termici interni, che hanno alto carico di raffrescamento (uffici, centri commerciali, ecc.);
- evitare il ballatoio interno; con un ballatoio interno la metà degli appartamenti sul lato nord non riceverebbero radiazione solare in inverno;
- gli appartamenti centrali affrontano il problema del surriscaldamento durante l'estate, a causa della ventilazione su un singolo lato.

La relazione di un edificio con gli altri edifici

Gli edifici separati e quelli alla fine di una fila di edifici o appartamenti negli edifici urbani multipiano che hanno più di una parete esterna avranno ovviamente perdite di calore maggiori di quelli con una sola parete esterna.

Questo può essere compensato incrementando l'isolamento o i guadagni solari attraverso le finestre orientate a sud o i sistemi solari passivi. Cosa fare e cosa non fare è descritto in quanto segue:

SI

- Nel caso di un edificio isolato, l'isolamento dell'involucro dovrebbe essere incrementato, mentre se esso fosse rivolto a sud dovrebbe essere applicato un sistema solare passivo (vedi la sezione successiva);
- gli edifici addossati l'uno all'altro, richiedono rimedi meno forti dell'edificio isolato, anche se gli edifici di testata richiedono inter-

- venti energetici più forti dell'edificio intermedio. L'edificio intermedio può essere preso come caso di riferimento in relazione al consumo energetico finale;
- rinforzare l'isolamento della copertura piana in tutti i casi e fornire controlli del riscaldamento indipendenti in ogni appartamento. In questo modo può il consumo energetico può essere ridotto.

NO

- In termini di risparmio energetico, gli edifici con due o più pareti esterne non dovrebbero essere trattati come gli edifici con una sola parete esterna;
- le superfici che sono in contatto diretto con l'ambiente esterno non dovrebbero essere lasciate senza isolamento. Si creano i ponti termici e si hanno perdite di calore. Vi è anche un pericolo reale di formazione di condensa, con scadimento anche delle prestazioni termoigrometriche dei componenti edilizi impiegati.

La relazione di un edificio con il suolo

Nelle aree dove la temperatura de suolo è più alta della temperatura esterna (*t.suolo* circa 11°C), gli edifici che sono in contatto diretto con il terreno hanno un miglior comportamento termico e pertanto consumano meno energia. Le condizioni climatiche interne di questi edifici sono ancora migliori durante l'estate.

Alcuni studi hanno dimostrato che negli edifici su pilotis (es. con un piano terra aperto) il consumo di energia è incrementato di almeno il 5%.

Edifici ad un solo piano ed edifici multipiano

Di regola, gli edifici urbani sono edifici multipiano. Questi edifici consumano meno energia per metro quadrato di area rispetto ad edifici più bassi.

Ci sono due situazioni alternative:

- Più è basso l'edificio, maggiore deve essere l'isolamento dell'involucro esterno, così da sopperire alle elevate perdite termiche in confronto agli edifici alti; o
- maggiore è l'isolamento dell'involucro esterno, più basso è l'impatto della forma dell'edificio.

92 Negli edifici bassi l'isolamento della base e del tetto dovrebbe essere prioritario. Nel caso degli edifici alti è vero il contrario, dove diventa prioritaria la protezione termica delle superfici verticali (muri e finestre).

Indubbiamente, in molti edifici urbani alti convenzionali che hanno un impianto di riscaldamento centralizzato, è stato registrato un più alto livello di consumo energetico di quello aspettato. Indipendentemente dal comportamento energetico irresponsabile di parte degli utenti, l'effetto è principalmente dovuto ad un isolamento termico insufficiente, o completamente mancante, del tetto e pertanto a perdite per conduttività maggiori. Ne consegue che le temperature più basse dell'ultimo piano inducono gli occupanti ad aumentare il loro consumo energetico per assicurare un comfort termico, ma provocando un surriscaldamento simultaneo dei piani sottostanti.

Per ragioni di comfort, condensa ed igiene, in ogni categoria di edificio (residenza, scuola, ufficio, ecc.) sono necessari ricambi d'aria pre-determinati per ora e previsti dalle normative edilizie. Le perdite termiche causate dai ricambi d'aria non possono, pertanto, essere ridotti sotto un certo livello. Quello che deve essere evitato, comunque, è l'incremento per perdite per ventilazione dovuto a ricambi d'aria incontrollabili e/o a una tenuta all'aria dell'involucro insufficiente. La ventilazione dello spazio e le perdite termiche sono particolarmente importanti in involucri fortemente isolati e negli edifici urbani bioclimaticamente progettati. Nel periodo del riscaldamento, dovrebbero essere considerati i sistemi di recupero del calore. In estate, la ventilazione è il metodo più efficiente di raffrescamento naturale (in particolare quella notturna) se ovviamente la temperatura esterna lo permette.

Orientamento dell'edificio e progetto delle aperture

La cosa più importante da tenere a mente, quando si sfrutta l'energia solare per riscaldare gli edifici durante l'inverno, per evitare il surriscaldamento durante l'estate, è l'orientamento delle aperture dell'edificio.

Orientamento a sud

Le aperture a sud possono essere usate come collettori della radiazione solare durante l'inverno e la radiazione diretta può essere evitata durante l'estate se si usano appropriati accorgimenti per l'ombreggiatu-

ra.

I benefici di un orientamento a sud sono i seguenti:

- una distribuzione migliore dei guadagni solari in confronto ad altri orientamenti;
- risparmi energetici nel riscaldamento;
- rischi ridotti di surriscaldamento durante l'estate in confronto agli orientamenti est e ovest;
- guadagni solari sufficienti per coprire il carico termico autunnale e primaverile, nelle regioni meridionali con un clima mite, quindi accorciamento del periodo di riscaldamento.

Cosa fare e cosa non fare riguardo alle aperture negli orientamenti a sud:

SI

- Nelle condizioni climatiche del sud Europa, incrementare la dimensione delle aperture a sud per incrementare i guadagni solari termici (guadagni diretti) e pertanto diminuire il consumo energetico finale. In altre regioni si raccomanda che il bilancio energetico delle aperture a sud o, ancora meglio, dell'intero edificio (guadagni solari, perdite termiche) debba essere simulato per determinare la superficie ottimale. Generalmente, una superficie del 50% della facciata a sud costituisce un risultato ragionevole;
- per assicurare le privacy, la sicurezza e la protezione dal rumore, si possono combinare guadagni diretti con altri sistemi solari passivi (muro massiccio, muro trombe, serra, ecc.);
- organizzare gli spazi interni come discusso in seguito in questo capitolo;
- se si aumenta la dimensione delle aperture, incrementare l'isolamento dell'involucro per conservare maggiormente i guadagni solari termici all'interno dell'edificio;
- fornire l'isolamento delle aperture per la notte;
- assicurare che vi sia una ventilazione controllata degli spazi.

NO

- Evitare di piantare alberi sempre verdi, o qualsiasi cosa che causerebbe un'ombreggiatura eccessiva sulla facciata;

- 94 — evitare di ridurre la capacità termica del pavimento che assorbe direttamente la radiazione solare isolando il suo lato interno o stendendo tappeti e posizionando una eccessiva quantità di arredi su di esso.

Orientamento a nord

Le aperture a nord forniscono spazi con una qualità dell'illuminazione migliore perché esse consentono solo la captazione della luce diffusa e non di quella diretta. Esse sono molto più utili durante l'estate, ma dovrebbero essere di dimensioni limitate per non causare elevate perdite termiche durante l'inverno.

Cosa fare e cosa non fare riguardo alle aperture negli orientamenti a nord è quanto segue:

SI

- Mantenere la superficie delle aperture tanto grande quanto è necessario per gli scopi di illuminazione e ventilazione naturale;
- aumentare l'isolamento dell'involucro dell'edificio del 20% circa in confronto allo standard, per ottenere lo stesso livello di consumo energetico di un edificio orientato a sud;
- usare doppi vetri o speciali pannelli vetrati isolati;
- generalmente, e specialmente negli orientamenti a nord influenzati dal vento, controllare la tenuta all'aria dell'involucro. Ridurre le infiltrazioni d'aria incontrollate tramite un progetto appropriato e una buona manodopera, sigillando le fessure, le tubazioni e i condotti e selezionando finiture continue piuttosto che quelle giuntate ove possibile;
- usare anticamere per le porte di entrata (spazi tampone);
- istruire gli occupanti per sviluppare abitudini di risparmio energetico per la ventilazione;
- considerare la possibilità di installare un sistema per la ventilazione controllata incorporando uno scambiatore di calore aria-aria.

NO

- Non ingrandire le aperture;
- non dimenticare le misure che dovrebbero essere prese all'esterno dell'edificio contro i venti freddi invernali.

Orientamenti est e ovest

Le aperture a est e a ovest offrono pochissimi vantaggi in qualsiasi periodo dell'anno, è per questo che sono da realizzarsi solo se assolutamente necessario per ragioni di illuminazione o per fornire una vista. Le aperture a ovest, soprattutto, innalzano la temperatura, e quindi il carico di raffrescamento, negli spazi interni durante l'estate, poiché esse consentono la radiazione diretta nel pomeriggio. Generalmente se ci sono aperture a est o a ovest, allora gli accorgimenti per l'ombreggiatura da usare devono essere all'esterno e in verticale per essere efficaci, poiché schermature orizzontali sarebbero inefficaci con il sole basso sull'orizzonte.

Cosa fare e cosa non fare riguardo alle aperture negli orientamenti a est e a ovest è quanto segue:

SI

- Fornire accorgimenti appropriati per l'ombreggiatura evitando il surriscaldamento durante l'estate (vedi più avanti in questo capitolo);
- fornire ventilazione incrociata nelle stanze per il raffrescamento naturale (vedi più avanti in questo capitolo);
- negli uffici, nei centri commerciali, ecc. usare speciali tipi di pannelli vetrati, come quelli riflettenti o assorbenti, per ridurre la radiazione solare.

NO

- Evitare finestre grandi perchè il rischio di surriscaldamento aumenta nel periodo estivo.

Organizzazione funzionale degli spazi interni (zone termiche)

SI

- Gli spazi utilizzati a lungo e che richiedono una temperatura interna alta (soggiorno, cucina, sala da pranzo, ufficio) dovrebbero essere ubicati sul lato sud;
- gli spazi utilizzati per brevi periodi e/o spazi che permettono una temperatura interna più bassa (WC, stanze da letto) dovrebbero essere ubicati nella zona termica intermedia;
- gli spazi ausiliari, se ci sono, dovrebbero essere ubicati sul lato nord

- 96 per costituire una zona termica cuscinetto (spazio tampone), tra gli spazi riscaldati e l'ambiente esterno (dispense, garage, ecc.).

NO

- Non ubicare le stanze da letto su un lato che affaccia sulla strada, perché in queste stanze insorgono problemi di rumore.

Strategie di conservazione dell'energia

Isolamento termico degli elementi esterni opachi

Negli edifici degli ambienti urbani dove la radiazione solare entrante e i guadagni solari sono ridotti per l'orientamento improprio o l'ombreggiatura eccessiva degli altri edifici, l'implementazione delle misure di risparmio energetico probabilmente forniscono l'unica soluzione per ridurre il consumo dei carburanti convenzionali.

Anche se la riduzione dei carichi termici è possibile incrementando i guadagni solari, l'implementazione delle misure di risparmio energetico – usando un isolamento pesante – è essenziale per trattenere il calore guadagnato negli spazi interni.

L'obiettivo energetico definito per l'edificio urbano (misurato in Kwh/m² per anno) può essere raggiunto combinando l'uso dell'energia solare con le misure di risparmio energetico, o soltanto implementando un isolamento pesante dell'involucro. La prima opzione è inevitabilmente la migliore, sebbene non è sempre fattibile.

Si propongono le regole generali seguenti:

- Più è forte l'isolamento degli elementi costruttivi esterni, più sono basse le perdite termiche e più è ridotto il consumo energetico dell'edificio in inverno;
- i primi cinque centimetri dell'isolamento conservano molta più energia dei cinque centimetri successivi. Un'analisi costi-benefici può fornire i criteri per selezionare lo spessore dell'isolamento;
- più è complessa la forma architettonica dell'edificio (avendo un rapporto alto area/volume), più deve essere consistente l'isolamen-

to dell'involucro, per bilanciare le perdite termiche. Il progettista dovrebbe sempre considerare le ripercussioni delle sue decisioni. Se si prendono decisioni errate durante i processi progettuali e di costruzione, si introducono problemi maggiori per gli utenti futuri, caricandoli delle conseguenze e incrementando il costo del consumo energetico;

- usare le stesse misure per affrontare l'isolamento dell'involucro, la ventilazione, i guadagni solari termici e il riscaldamento, perché essi sono i fattori base del bilancio termico dell'edificio e pertanto influiscono sulle condizioni climatiche interne e sul consumo energetico;
- isolare la struttura uniformemente, evitando i ponti termici;
- posizionare gli strati isolanti per fornire un'appropriata capacità termica al sistema di riscaldamento, all'uso dell'edificio e ai guadagni solari attesi.

L'isolamento termico dell'involucro dell'edificio permetterà di:

- Incrementare il comfort degli spazi interni;
- ridurre la possibilità della concentrazione di vapore sulle superfici dell'edificio, a patto che non ci siano ponti termici;
- incrementare i costi iniziali di costruzione, ma ridurre, nel tempo, i costi per il consumo energetico;
- assicurare che i guadagni solari termici saranno conservati per un lungo periodo all'interno dell'edificio.

Risparmio energetico isolando gli elementi costruttivi esterni

Muri esterni

Le strutture murarie esterne possono essere isolate termicamente sul lato esterno, in una intercapedine interna o sul lato interno. Può anche essere implementato il metodo delle strutture murarie ventilate. Il risparmio energetico è funzione dello spessore isolante.

Soprattutto negli edifici urbani multipiano, l'isolamento termico delle murature esterne è il fattore chiave nel consumo energetico finale.

98 Il tetto piano

Il tetto, l'elemento strutturale più importante dell'involucro dell'edificio, sempre usato nella forma inclinata, gradualmente si è trasformato, per poi essere infine rimpiazzato con larga applicazione, in particolare negli edifici urbani, in tetto piano. Comunque, i problemi, che sono praticamente inesistenti nelle coperture inclinate, cambiano al cambiare della forma del tetto.

I requisiti che un tetto piano deve soddisfare per evitare danni e per regolare le condizioni climatiche interne possono essere sintetizzati come segue:

- Deve essere impermeabile a prova d'acqua sia rispetto alla pioggia esterna sia rispetto all'umidità relativa interne;
- deve avere le pendenze necessarie per facilitare e consentire un rapido deflusso delle acque piovane;
- deve fornire una protezione termica soddisfacente – in inverno e in estate – per gli spazi che copre.

La parte superiore deve essere considerata dalla fase iniziale del progetto sino alla costruzione dell'edificio per risultare funzionalmente e strutturalmente idonea.

Dal punto di vista energetico la copertura assume un ruolo molto importante negli edifici bassi (da uno a tre piani).

Solai controterra

Nell'isolamento dei solai controterra, i risparmi energetici sono notevolmente inferiori rispetto a quelli degli altri elementi costruttivi. Questo perché la temperatura del suolo è più alta della temperatura esterna.

Alcuni studi hanno dimostrato la mancanza di isolamento termico dei solai controterra facilita la dissipazione termica attraverso il solaio e quindi le condizioni interne delle stanze corrispondenti durante l'estate possono essere migliori.

Solai su pilotis

Con l'isolamento di un solaio su pilotis (uno spazio aperto a piano terra), non solo sono importanti i risparmi energetici raggiunti, ma risulta anche assicurato l'isolamento degli spazi dal rumore.

Aperture

99

Gli elementi vetrati di un edificio sono normalmente i suoi punti deboli che interessano il progetto energeticamente consapevole più degli elementi opachi dell'edificio. La loro particolarità risiede in un numero di funzioni che essi sono designati ad assolvere. Ognuna di queste funzioni richiede una superficie diversa. Così, per ottenere buone condizioni d'uso e a seconda della funzione affrontata di volta in volta (illuminazione, ventilazione, protezione dal rumore, ecc.), le superfici richieste variano e possono essere piccole, medie o grandi.

Mentre l'edificio è in corso di progetto, siccome tutti i requisiti che possono essere soddisfatti, estetici, morfologici e funzionali devono essere considerati, come anche l'aspetto energetico. Sulla base di questi parametri si può determinare la dimensione migliore della superficie delle aperture.

Negli ultimi anni, sono stati espressi molti dubbi e molte critiche su ogni tipo di edificio urbano ove prevalgono le facciate vetrate leggere, un casuale orientamento dell'edificio e un casuale uso degli spazi interni in termini di condizioni climatiche (comfort termico).

Il surriscaldamento degli spazi in estate, le perdite termiche incrementate e di conseguenza le basse temperature in inverno inducono gli utenti ad installare l'aria condizionata per rendere i luoghi abitabili in termini di clima. Questo provoca un incremento drammatico dei costi d'uso di questi particolari edifici urbani.

In termini di energia, quando le dimensioni delle aperture sono già definite, le perdite termiche devono essere considerate come anticipato per i guadagni solari termici, le quali dipendono eminentemente dall'orientamento delle aperture. Le perdite termiche possono essere distinte in perdite per trasmissione e per ventilazione.

Si deve considerare il fatto che, in confronto ai muri solidi, le perdite per trasmissione attraverso il vetro convenzionale possono essere da cinque a sette volte più alte. Questa quantità decresce nei materiali vetrosi avanzati (rivestimenti a basso-emissivi, aerogels, isolamento trasparente, vetrate speciali).

Le perdite per ventilazione dipendono dalla tipologia d'infisso e in generale dalla loro tenuta all'aria. Le vecchie aperture, e le aperture che non chiudono in modo serrato, presentano alte perdite per infiltrazioni d'aria. Quando si usano le finestre per il ricambio d'aria, la quantità di calore che si perde è molto alta.

100 I suggerimenti su cosa fare e non fare riguardo alla concezione delle finestre sono i seguenti:

SI

- Riparare le finestre dall'acqua per ridurre le perdite per ventilazione indesiderate;
- costruire la connessione tra la finestra e il muro molto attentamente, per evitare o ridurre i ponti termici;
- scegliere doppi-vetri a bassa emissività e basso valore di conduttanza per ridurre le perdite per trasmissione;
- scegliere la dimensione e la posizione dell'apertura in un muro esterno secondo l'orientamento e perciò secondo la quantità di energia solare termica che si vuole captare, come anche in relazione alla luce del sole che deve essere direzionata nello spazio.

NO

- Non posizionare finestre grandi sui lati est e ovest. Esse causeranno surriscaldamento estivo;
- non dimenticare di usare gli accorgimenti appropriati per l'ombreggiatura delle aperture in ogni orientamento e tenere a mente il costo totale delle aperture, inclusi anche i costi di protezione dal sole;
- non posizionare finestre grandi sul lato nord. I guadagni sono molto limitati e derivanti solo dalla radiazione diffusa, mentre vi sono grandi dispersioni termiche.

Strategie di riscaldamento solare passivo

L'applicazione delle strategie per il riscaldamento solare passivo nell'edificio urbano presuppone l'adozione delle misure per il risparmio energetico, così da incrementare l'efficienza delle strategie e assicurare la conservazione del calore negli spazi interni per un lungo periodo.

Strategia di riscaldamento

La strategia per il riscaldamento che usa i sistemi solari passivi si basa sulla captazione solare, sull'accumulo e sulla distribuzione del

calore e indubbiamente sulla conservazione del calore.

I sistemi solari passivi sono costruzioni semplici, normalmente integrate all'involucro dell'edificio. I materiali usati sono molto spesso materiali comuni da costruzione. Il loro obiettivo di base è quello di sfruttare l'energia solare in pieno e di fornire una forma di calore passivo, per ottenere condizioni di comfort termico con il consumo energetico più basso possibile.

Negli edifici urbani, assodato che sia assicurato il giusto orientamento e sia evitata l'ombreggiatura eccessiva da parte degli edifici adiacenti, applicare i sistemi solari passivi conosciuti è un problema semplice.

I sistemi che possono essere applicati sono i seguenti:

- guadagno diretto attraverso le finestre o lucernari;
- il muro massiccio o il muro Trombe;
- il sistema Barra–Costantini;
- il sistema a termosifone;
- la serra addossata;
- l'atrio.

Se per ragioni di rumore, privacy o sicurezza, o a causa dei requisiti funzionali degli spazi interni, negli edifici urbani non si possono usare le aperture a sud in modo esteso, allora la soluzione può essere la combinazione di altri sistemi solari passivi opachi.

I muri massicci, Trombe e il sistema a termosifone possono essere applicati agli edifici urbani esistenti attraverso l'uso di strutture addizionali molto semplici in sostituzione o vicino ai muri convenzionali.

Per evitare il surriscaldamento degli interni durante l'estate, specie negli edifici urbani che hanno un uso molto intenso (blocchi ufficio, scuole, edifici commerciali, ecc.), è necessario chiudere tutti i sistemi per fornire una forma adeguata di ombreggiatura, aprendo il collettore vetrato di fronte al sistema e chiudendo le aperture superiore e inferiore nel caso del muro Trombe e del pannello termosifone.

I suggerimenti su cosa dovrebbe essere fatto e non dovrebbe essere fatto riguardo alla captazione solare sono i seguenti:

SI

- Puntare ad orientare a sud le superfici vetrate di captazione. L'orien-

tamento è il fattore più importante per ottenere il massimo guadagno solare. Una deviazione ad est di $\pm 25^\circ$ riduce l'efficacia dei consigli sull'ombreggiatura orizzontale e riduce anche lievemente i guadagni solari di calore. Questo dovrebbe essere tenuto in seria considerazione nel progetto degli edifici urbani, specialmente nell'area mediterranea, dove il surriscaldamento estivo è un fenomeno comune;

- si raccomanda che i pannelli dei collettori solari verticali siano usati per affrontare con più efficacia i problemi quali la pulizia, l'ombra e l'isolamento notturno. Se la pendenza del pannello del collettore solare si avvicina a 90° rispetto all'inclinazione dei raggi del sole in inverno, la quantità di energia solare captata durante l'inverno sarà maggiore, a seconda della latitudine del sito. In questo caso, in estate può anche verificarsi il surriscaldamento se ci sono problemi nell'applicazione dei consigli sulla schermatura del sole;
- per aumentare i guadagni solari termici, usare riflettori di fronte al pannello di captazione solare, sia fuori che dentro l'edificio, per indirizzare la radiazione solare verso zone precise dove è posta la massa di accumulo termico. Regolare l'angolo dei riflettori e indagare su ogni problema. I materiali usati per i riflettori solari sono i fogli di alluminio, sottili lamine metalliche, riflettori in vetro o specchi;
- usare un isolamento rimovibile durante i giorni critici e durante la notte, combinato ove possibile con tende interne, per ridurre la dispersione di calore dal collettore solare;
- la tipologia del vetro usato nei pannelli collettori solari influisce notevolmente sulla quantità di dispersione termica. È pertanto importante scegliere pannelli vetrati di alta qualità, che assicureranno una trasmittanza di energia solare totale alta come anche una bassa dispersione del calore.

NO

- Evitare di ombreggiare le superfici di captazione a sud con ostacoli esterni, quali costruzioni vicine, edifici, alberi, sistemi di ombreggiatura verticale, ecc. se vi è una richiesta di calore nell'edificio (e non solo una richiesta di raffrescamento);
- evitare di usare vetrate riflettenti sul lato sud dato che riducono l'ingresso dell'irradiazione solare all'interno e pertanto non sono

- compatibili con la massimizzazione del guadagno solare passivo;
- non dimenticare di pulire frequentemente le superfici captanti esterne. Lo sporco e la polvere fanno decrescere l'efficacia delle superfici, perché producono la trasmittanza dell'energia solare;
- nei climi miti e temperati evitare una grande quantità di guadagno solare per il calore, specie negli edifici non residenziali.

L'accumulo di calore

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Usare materiali pesanti con un'alta capacità di accumulo del calore per la costruzione dei muri e dei solai. Contenitori metallici riempiti d'acqua, mattoni o massi di cemento rinforzato sono tra i più comuni materiali da costruzione usati che hanno una massa di accumulo del calore elevata;
- posizionare gli elementi di accumulo del calore principalmente nell'area che riceve la quantità più grande di radiazione solare e di conseguenza ha i guadagni solari maggiori;
- se la massa termica esistente appare insufficiente, considerare le soluzioni tipo gli strati ghiaiosi sotto il solaio tra lo stesso e il suolo o un muro massiccio extra posto all'interno per una capacità di accumulo extra;
- scegliere colori scuri per le superfici esterne degli elementi di accumulo. È risaputo che le superfici dai colori scuri assorbono meglio la radiazione solare di quelle chiare. Per esempio, una superficie colorata di grigio assorbe una grande quantità di radiazione solare (75%) mentre un muro in mattoni rossi assorbe solo il 55%;
- indagare sul bisogno di accumulo termico in un edificio sia per i periodi di riscaldamento che per quelli di raffrescamento;
- gli elementi costruttivi intorno alle strutture di accumulo del calore dovrebbero essere isolati esternamente così da evitare perdite di calore e dirigere il calore verso gli spazi d'uso.

NO

- Non diminuire la capacità di accumulo termico coperture e materiali come i tappeti, gli arredi o altri ostacoli dove la luce solare diretta cade sugli elementi dell'edificio, perché è su queste superfici che il

- processo di accumulo del calore avviene;
- evitare di usare pavimenti dai colori chiari quando questi sono elementi di accumulo termico, perché l'efficacia dell'accumulo viene notevolmente ridotta;
- un'alta capacità di accumulo termico non è raccomandata per edifici che non vengono usati di continuo, perché ciò implica una grande latenza di tempo durante la quale il riscaldamento dell'interno è già iniziato. In questi casi l'isolamento termico dell'involucro dell'edificio deve essere una priorità;
- qualsiasi sistema di riscaldamento a pavimento è incompatibile con l'uso del solaio come elemento di accumulo del calore perché il pavimento è già caricato termicamente dal calore del sistema di riscaldamento ed è pertanto impossibile per esso ricevere la maggior parte del calore della radiazione solare entrante.

Seguono considerazioni positive e negative concernenti la distribuzione del calore:

SI

- La distribuzione naturale del calore è preferibile alla distribuzione forzata per la quale si usano mezzi meccanici (es. ventole o pompe);
- la distribuzione forzata (meccanica) del calore deve essere usata quando un'immediata distribuzione dell'aria riscaldata (o raffrescata) è richiesta negli spazi, o quando l'area di accumulo del calore è lontana dallo spazio vissuto;
- localizzare l'area di accumulo vicino all'area riscaldata per usare la distribuzione del calore solo attraverso mezzi naturali. In questo modo le dispersioni termiche decrescono con il lasso di tempo del trasferimento del calore;
- usare meccanismi di controllo meccanici per girare le ventole se e quando esse sono richieste per distribuire in uno spazio il calore accumulato.

NO

- Se è richiesto l'isolamento termico del solaio, questo non deve essere posto sulla parte superiore ma allo strato inferiore, per evitare un decremento della capacità termica del pavimento.

La conservazione del calore

Seguono considerazioni positive e negative sulla conservazione del calore:

SI

- Una posizione riparata, le condizioni microclimatiche, la forma compatta dell'edificio, l'organizzazione degli spazi interno (zoning termico, aree filtro tra gli spazi riscaldati e l'esterno) sono le principali misure progettuali per la conservazione del calore;
- inoltre, livelli alti di isolamento degli elementi opachi e trasparenti (pannelli vetrati doppi o tripli), rivestimenti riflettenti sulle superfici interne, scuri (o persiane) rimovibili e una ventilazione controllata, forniscono aria fresca solo come e quando richiesto, conservano il calore captato accumulato e distribuito per un lungo periodo all'interno degli spazi dell'edificio riscaldati.

NO

- Non è raccomandato un isolamento interno degli elementi costruttivi esterni. Esso comporta un decremento della capacità termica degli elementi e un incremento dei ponti termici;
- non ingrandire le aperture a nord, est e ovest. Questo causa un incremento del carico termico in inverno (vedi la discussione sul progetto delle aperture presentata in precedenza in questo capitolo) ed un corrispondente un incremento del carico di raffrescamento in estate.

Strategie di raffrescamento solare passivo

Negli edifici urbani la maggiorparte dei problemi di surriscaldamento durante l'estate sono causati dalla produzione di calore delle attrezzature e delle installazioni, da un alto livello di illuminazione artificiale e dalla presenza di un gran numero di occupanti. Tali edifici sono uffici, negozi, centri commerciali, sale di intrattenimento, ecc. Negli edifici residenziali i bisogni di raffrescamento sono notevolmente inferiori – ad eccezione di quelli dell'area mediterranea. Le ragioni principali sono la mancanza di gran parte di produzione di calore delle attrezzature e

- 106 l'applicazione di strategie naturali per il raffrescamento come la ventilazione e l'ombreggiatura.

Il controllo del surriscaldamento

Controllo dei guadagni esterni

Come si è detto in precedenza in questo capitolo, molte tecniche forniscono il raffrescamento attraverso l'uso degli alberi, della vegetazione naturale, degli edifici vicini, e delle superfici d'acqua vicino in prossimità delle superfici della costruzione, come anche per il raffrescamento sia per l'ombra sia per l'evaporazione o per canali di ventilazione in estate.

Schermatura del sole

Una combinazione degli accorgimenti esterni ed interni per l'ombreggiatura può offrire un efficiente controllo solare. Una soluzione ideale è quella di avere ombre che si possono muovere, sia durante le stagioni sia durante il giorno.

Seguono considerazioni positive e negative sulle schermature;

SI

- Divergere la radiazione solare dagli elementi opachi dell'involucro dell'edificio applicando strategie efficienti. Una particolare attenzione dovrebbe essere prestata nell'ombreggiare gli elementi trasparenti esterni dell'involucro dell'edificio per ridurre il flusso di calore entrante e ridurre i rischi di surriscaldamento;
- usare sistemi ombreggianti fissi o mobili o trovarne la combinazione appropriata e la sistemazione per la protezione solare più efficiente. Le soluzioni ombreggianti mobili usate dagli abitanti sono in genere delle buone soluzioni;
- i sistemi di ombreggiatura esterni sono preferibili e più efficaci di quelli interni. Questa categoria include sistemi fissi all'esterno degli stipiti delle finestre o agganciati all'esterno dell'involucro dell'edificio. Le unità apribili includono persiane in legno o metallo, veneziane esterne, chiusure e aggetti fissi o mobili. Gli aggetti fissi orizzontali in generale sono efficaci per il controllo della luce del sole per le finestre a sud, mentre per le finestre a est e a ovest le

ombreggiature dovrebbero essere verticali per contrastare l'impatto del sole estivo. Il vantaggio più importante delle ombreggiature montate all'esterno e che esse bloccano il riscaldamento dell'esterno dell'edificio;

- negli edifici urbani con specifiche destinazioni d'uso, come uffici, centri commerciali, negozi, ecc., si devono usare speciali vetri con un coefficiente di trasmittanza solare basso o, se richiesto, con un alto coefficiente di ombreggiatura;
- progettando gli accorgimenti di ombreggiatura esterna, bisogna tener conto del bisogno del controllo dei guadagni solari in estate, come anche delle prestazioni di riscaldamento e di illuminazione dell'edificio.

NO

- Evitare ombreggiature esclusivamente interne, come le tende che si srotolano, le veneziane, e i drappi. Combinare le ombreggiature interne ed esterne. Lo svantaggio maggiore delle tende, o simili, riguarda la loro riflessività, esse intrappolano il calore sulla parte interna del vetro e questo rimane nella stanza. Le ombreggiature interne ed esterne dovrebbero essere progettate insieme;
- non bloccare l'illuminazione diurna e la ventilazione naturale usando ombreggiature interne e ostacoli vicino alle aperture dell'edificio;
- le ombreggiature esterne, specialmente quelle orizzontali, non dovrebbero essere in contatto diretto con l'involucro. Si dovrebbero prevedere fori o aperture per favorire la circolazione dell'aria e prevenire il riscaldamento derivante dall'intrappolamento dell'aria negli spazi superiori;
- i materiali delle vetrati con un basso coefficiente di trasmissione, per ragioni estetiche, non sono raccomandati per il progetto delle abitazioni, specialmente per le aperture a sud. Con questo tipo di vetro, i guadagni solari sono ridotti non solo in estate ma per tutto l'anno.

Capacità termica

L'inerzia termica è un parametro importante, specie durante l'estate quando le escursioni termiche nelle 24-ore sono molto significative.

108 Essa aiuta ad evitare il riscaldamento diurno e mantiene il fresco notturno nell'edificio per molto tempo. La capacità termica degli elementi di un edificio ritarda il trasferimento del calore all'interno assorbendo il calore eccessivo per molte ore. Durante la notte, quando la temperatura esterna è più bassa, il calore accumulato viene lentamente rilasciato all'ambiente per irraggiamento e convezione (Figura 16.62).

Seguono considerazioni positive e negative sulla capacità termica.

SI

- Nei climi caldi come quelli del Mediterraneo, si dovrebbero usare materiali con un'alta capacità termica per consentire all'edificio di lavorare come una "banca" di accumulo termico. Questo migliorerebbe le prestazioni estive ed invernali dell'edificio;
- un'attenzione speciale dovrebbe essere prestata nel fornire la ventilazione naturale notturna nel periodo estivo, che è necessaria per il rilascio del calore accumulato per convezione. Questo è il miglior (se non il solo) modo di raffrescamento notturno passivo. Nelle zone con grandi differenze di temperatura tra notte e giorno la ventilazione notturna riduce anche il carico di raffrescamento dell'edificio e la temperatura diurna massima interna di 1-2 K;
- tenere sempre a mente che un aumento della capacità termica aiuta a ridurre il carico di raffrescamento in estate ed evita le temperature eccessive – surriscaldamento – causate da elevati guadagni termici solari ed interni. La massa termica ritarda l'insorgere dei valori della temperatura massima (*time lag*) e riduce anche i suoi valori assoluti;
- la massa termica dovrebbe essere associata ad un adeguato isolamento dell'involucro esterno dell'edificio. Questa combinazione comporta una riduzione delle principali temperature interne e a condizioni di comfort termico soddisfacenti durante l'estate;
- per inserire la massa termica nell'edificio e distribuirla correttamente, dovrebbero essere presi in considerazione svariati parametri. Essi sono: gli orientamenti dell'edificio e delle sue facciate; l'isolamento termico degli elementi costruttivi; il potenziale e le caratteristiche del tipo di ventilazione fornita; le condizioni climatiche esterne; i ritmi d'uso e i meccanismi di controllo dei sistemi installati per il riscaldamento e per il raffrescamento; e le caratteristiche termofisiche dei materiali costruttivi.

NO

- La massa termica posta sulle facciate o sugli elementi a nord generalmente non assume un ruolo molto importante, eccetto negli edifici urbani e specialmente in quelli adibiti ad uffici con guadagni termici interni elevati dovuti all'illuminazione artificiale, alle installazioni elettriche ed alle attrezzature;
- non sottovalutare il ruolo della massa termica negli elementi e nelle facciate a est e soprattutto a ovest, specie nel periodo estivo. Sia l'involucro esterno dell'edificio sia gli spazi interni si caricano termicamente di radiazioni solari;
- non trascurare il contributo della massa termica combinato ad un adeguato isolamento della copertura dell'edificio. La copertura riceve radiazione solare più o meno verticalmente nel periodo estivo, causando problemi di surriscaldamento negli spazi direttamente sottostanti.

Le superfici esterne dell'edificio

Rivestimenti

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Per scegliere i colori delle superfici esterne, si dovrebbero stimare i carichi di riscaldamento e raffreddamento. Nei climi freddi dove i bisogni di riscaldamento sono maggiori, si dovrebbero preferire i colori scuri per l'elevazione degli edifici, mentre si dovrebbero usare colori chiari nelle aree calde soleggiate con estati calde e lunghe per incrementare le capacità riflettenti delle superfici ed evitare le alte temperature;
- l'uso di materiali altamente riflettenti è necessario per le superfici esposte al sole estivo. Bisognerebbe prestare particolare attenzione alle superfici ad est e ad ovest e alla copertura.

NO

- Non usare colori scuri sulle superfici esterne degli edifici nei climi caldi. A causa dell'alta assorbenza dei colori scuri, le temperature dell'involucro, e di conseguenza il carico di raffreddamento, aumentano.

110 Vetrate

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Controllare i guadagni di calore solare attraverso un attento dimensionamento e posizionamento delle superfici vetrate, considerando l'orientamento;
- le aperture ad est e ad ovest dovrebbero essere minimizzate. Esse incrementano il rischio di surriscaldamento estivo e pertanto il carico di raffrescamento;
- negli edifici urbani con un orientamento dato, quando vi è la richiesta di grandi aperture per ragioni architettoniche o funzionali, scegliere un tipo speciale di vetro che riduce i guadagni di calore solare durante il periodo estivo, mentre consente l'illuminazione naturale e la vista. I tipi di vetro più efficaci in questi casi sono quelli riflettenti o assorbenti.

NO

- Non trascurare l'implementazione dei sistemi appropriati di ombreggiatura per ogni apertura esterna dell'edificio in accordo con l'orientamento (vedi la sezione precedente). Più sono grandi le aperture non protette, più è grande il guadagno solare e pertanto il carico di raffrescamento e il pericolo di surriscaldamento;
- vetri riflettenti non sono raccomandati per gli edifici ad uso residenziale, perché essi sono piuttosto costosi e architettonicamente inappropriati. Sono quindi più adatti per gli uffici e gli edifici commerciali.

Piantumazioni in prossimità della pelle dell'edificio

Seguono considerazioni positive e negative.

SI

- Ubicare piante, quali i rampicanti, sulla pelle dell'edificio. Il beneficio più ovvio della vegetazione e la sua abilità di ombreggiare in estate;
- tenere a mente che un rivestimento vegetale denso si interporrà tra la radiazione solare e la pelle dell'edificio, riducendo la temperatura della superficie esterna e la quantità di calore indotto all'interno;

- in inverno lo strato limite creato dalle piante sempreverde ha una funzione isolante che riduce le dispersioni termiche. 111

NO

- Uno svantaggio estivo delle facciate verdi è il fatto che l'aria calda è intrappolata intorno all'involucro dell'edificio. L'effetto benefico che potrebbe avere una corrente fredda di aria, eliminando questa cintura di aria calda, è ridotto. Questo svantaggio non c'è nei casi in cui la corrente d'aria è abbastanza forte da raffreddare la superficie esterna dell'edificio;
- non decidere di porre le piante vicino o sull'edificio se non si è sicuri di volerle mantenere per molti anni. Molte piante rampicanti distruggono le tinteggiature e gli intonaci e possono essere difficili da rimuovere.

Il tetto verde

I grandi complessi urbani edificati soddisfano molte esigenze, ma allo stesso tempo distruggono gli aspetti naturali delle città. Questo ha molti effetti negativi che dovrebbero essere tenuti sotto controllo il più possibile.

Un giardino sul tetto di un edificio è uno degli interventi positivi che l'ambiente urbano richiede. Tali giardini possono essere usati dai residenti come spazi rilassanti e ricreativi, migliorando in questo modo sia la qualità della vita sia le condizioni microclimatiche.

Alcuni dettagli costruttivi sono mostrati in Figura 16.67.

Seguono considerazioni positive e negative riguardo alle piantumazioni sui tetti.

SI

- Considerato in termini di risparmio energetico, il tetto verde influisce positivamente sulle condizioni climatiche interne di un edificio, dato che le condizioni vengono considerevolmente migliorate sia in inverno (temperature interne più alte) sia in estate (temperature interne più basse), riducendo così il consumo energetico.

NO

- L'unico aspetto negativo che può essere individuato nell'installazione di un tetto vegetale è l'aumento del peso e del costo della

- 112 costruzione. Comunque, vi sono molti aspetti positivi. Con il risparmio energetico e i benefici ambientali, migliora anche la qualità della vita negli spazi interni e aumenta il valore della proprietà.

Controllo dei guadagni interni

Illuminazione elettrica

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- L'edificio e le sue aperture dovrebbero essere appropriatamente progettati per assicurare l'illuminamento naturale degli spazi interni, così riducendo il bisogno della luce artificiale e quindi il carico di raffrescamento;
- l'illuminamento naturale degli spazi interni attraverso le aperture dovrebbe essere progettato in concomitanza con i sistemi di ombreggiatura per evitare i guadagni di riscaldamento solare. Esso dovrebbe anche essere relazionato all'uso della luce artificiale ad alta efficienza. Queste misure aiutano a ridurre il bisogno di luce artificiale, come anche il carico di raffrescamento;
- negli edifici urbani adibiti ad ufficio e specie negli edifici commerciali, l'effetto della luce artificiale sul carico di raffrescamento è notevolmente alto, perché l'incremento dei bisogni di illuminazione fa incrementare la generazione di calore. In questi casi è essenziale cercare soluzioni alternative, come aperture sul tetto, lucernari, ecc., per incrementare l'illuminazione naturale e di conseguenza ridurre il bisogno di luce artificiale.

NO

- Non progettare un edificio completamente "ceco" senza finestre. Anche se il contatto visivo con l'esterno non è richiesto dalla destinazione d'uso (teatri, depositi, ecc.), le aperture sono necessarie soprattutto per la ventilazione naturale.
- è preferibile non usare la luce artificiale a bassa efficienza. Essa contribuisce all'aumento del consumo energetico e alla richiesta di carico di raffrescamento. Il calore prodotto dalla luce artificiale si aggiunge ai guadagni casuali, facendo aumentare la temperatura interna.

Apparecchiature e attrezzature elettriche

Seguono considerazioni positive e negative.

SI

- Usare apparecchiature domestiche e attrezzature da ufficio ad alta efficienza per evitare l'incremento del carico di raffrescamento;
- le caldaie e i contenitori di acqua calda dovrebbero essere attentamente isolati. In questo modo, non solo se ne migliora l'efficienza, ma viene minimizzato anche il flusso di calore verso gli spazi interni.

NO

- Non porre apparecchiature e attrezzature elettriche in luoghi dell'edificio da dove sarà difficile espellere il calore accumulato con la ventilazione naturale.

Gli abitanti

Gli abitanti stessi sono una fonte notevole di guadagno termico. Il calore prodotto da un corpo umano dipende dall'attività della persona. Un adulto seduto emette circa 80 watts di energia nell'ambiente, una quantità incrementata da attività più intense. Specie negli edifici urbani o negli edifici per usi specifici, e.g. sedi amministrative ed edifici pubblici, i guadagni casuali causati dagli occupanti sono il fattore chiave per determinare i carichi di raffrescamento (e riscaldamento). In questi casi la popolazione è un fattore anelastico ed è pertanto essenziale focalizzare l'attenzione sulle tecniche di raffrescamento passivo (compresa la ventilazione incrociata) e controllare il surriscaldamento per far decrescere la domanda del carico di raffrescamento e migliorare il comfort termico prima di usare i sistemi di aria condizionata.

Raffrescamento naturale

Strategie di ventilazione

Si sa bene che il movimento dell'aria è causato dalla differenza di distribuzione della pressione tra l'interno e l'esterno dell'edificio. Quindi

114 l'aria si muove da una zona di alta pressione ad una zona di bassa pressione. Questo flusso d'aria, che è direttamente connesso con la ventilazione interna, ha un effetto di raffreddamento, perché porta via il calore dall'edificio e dal corpo umano stesso.

Se la differenza di pressione è insufficiente ad innescare il movimento dell'aria naturalmente (effetto camino), questa azione può essere amplificata con mezzi meccanici (ventole). Il movimento forzato dell'aria dovrebbe generalmente essere evitato e dovrebbe essere riconsiderato quando tutte le tecniche di ventilazione naturale presentate di seguito sono state esaurite e quando queste, a dispetto di ogni cosa, si sono dimostrate inadeguate per la ventilazione naturale dell'edificio o se si scopre che l'apertura delle finestre causa rumore e problemi di sicurezza.

Le ventole a soffitto sono generalmente una buona scelta, dato che incrementando la velocità dell'aria esse incrementano gli scambi di calore per convezione, quindi migliorando il senso di comfort. Alcune misurazioni hanno dimostrato che all'aumentare della velocità dell'aria interna, la temperatura dell'aria interna aumenta di circa 2 K.

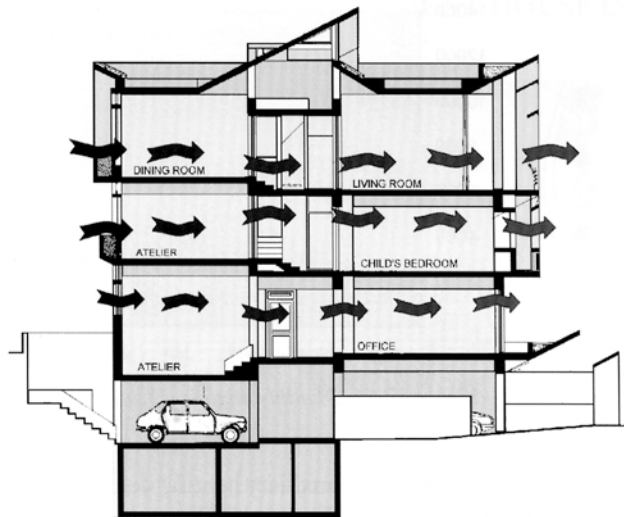


Figura 45. Ventilazione trasversale

Le aperture

115

Con un ventilazione frequente degli spazi durante il giorno, e specie con la ventilazione notturna, si ottiene il raffrescamento naturale, dato che l'aria calda viene rimossa dall'edificio e anche dal corpo umano stesso. Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- La sistemazione delle aperture nelle facciate dell'edificio è il fattore determinante per una ventilazione naturale efficiente;
- negli edifici urbani, se la corrente del vento è parallela alle aperture esterne o se ci sono finestre su muri adiacenti perpendicolari ai muri esposti al vento, queste possono migliorare la capacità delle aperture esistenti di catturare il vento entrante o di funzionare come uscite d'aria, contribuendo così alla ventilazione incrociata;
- è opportuno porre entrate per l'aria in posizione alta, se nell'uso della ventilazione notturna si vuole cercare di scaricare il carico termico di un tetto compatto che funziona come un accumulatore di calore durante il giorno;
- le aperture esterne vicine alle zone vissute incrementano in estate il senso di caldo, derivante dall'evaporazione della traspirazione della pelle umana;
- per assicurare agli abitanti un senso di fresco attraverso la ventilazione incrociata, posizionare le aperture all'altezza del corpo;
- negli edifici urbani dove è impossibile creare una ventilazione incrociata a causa della mancanza di aperture opposte, di un'organizzazione inappropriata dello spazio interno o del volume sproporzionato dell'edificio (troppo profondo o lungo), le aperture nel tetto e il vano scala centrale possono incrementare un flusso d'aria trasversale di risalita;
- è meglio avere due aperture posizionate il più lontano possibile sulla stessa facciata di un edificio, invece di una singola apertura della stessa area. In questo modo la ventilazione dell'edificio viene notevolmente migliorata;
- cercare sempre di assicurare la ventilazione incrociata degli spazi ponendo le aperture su muri opposti. Questa è la strategia più efficace per il raffrescamento naturale;
- è importante porre un'apertura diagonalmente opposta rispetto alla direzione principale del vento, per permettere al flusso d'aria di

- 116 circolare attraverso l'intero edificio;
- le ventole a soffitto e i ventilatori possono essere usati come sistemi ibridi per incrementare la velocità del flusso d'aria e migliorare il senso di comfort termico e lo scambio termico per convezione.

NO

- Non porre le aperture su una facciata parallela alla direzione del vento. L'aria soffierà intorno all'edificio senza entrare negli spazi vissuti e non si otterrà il raffrescamento naturale;
- evitare la ventilazione su un singolo lato. E' una la strategia per il raffrescamento inefficace se comparata alla ventilazione incrociata;
- si sconsiglia di porre le aperture (di entrata e di uscita) nella parte superiore dello spazio. Nell'area tra 1.00 e 1.50 m di altezza, non genereranno un'alta velocità dell'aria nelle zone abitate o di lavoro.
- non usare movimenti forzati dell'aria (ventilazione meccanica) negli spazi abitati quando si può ottenere la ventilazione naturale.

Torre del vento

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- La costruzione di una torre del vento è abbastanza semplice e fattibile. Se non è possibile avere aperture sul lato sopravvento di un edificio urbano, nel caso di nuova costruzione si può realizzare una torre del vento, o nel caso di un edificio esistente si può adattare una canna fumaria, che dalla parte superiore attiva il tiraggio del vento;
- la torre del vento dovrebbe avere aperture adeguate nella parte superiore in modo da dirigere l'aria catturata dai punti di entrata negli spazi interni;
- un sistema a torre del vento può anche funzionare al contrario. Se è possibile avere aperture sul lato sottovento e sul lato sopravvento allora l'aria può entrare dalle comuni finestre. La torre del vento dovrebbe essere costruita nella zona di bassa-pressione, per risucchiare dell'aria calda e attivare il flusso di risalita nella torre;
- se non è possibile avere aperture su entrambi i lati (sopravvento e

sottovento), allora sarebbe efficace la combinazione di due torri del vento. Una torre del vento sarebbe usata per l'entrata dell'aria fredda e l'altra per l'uscita dell'aria calda. 117

NO

- Si consiglia di interrompere l'attività del sistema di ventilazione durante la notte, quando esso è più efficace, poiché l'aria esterna è fredda e il calore viene espulso molto più facilmente dagli elementi della costruzione. L'uso di un controllo automatico della ventilazione naturale tramite valvole a cerniera può essere un'opzione fattibile;
- non ostruire il flusso d'aria all'interno dell'edificio chiudendo le aperture di entrata della torre del vento;
- non dimenticare di aprire le finestre sul lato sottovento dell'edificio e, in particolare, non ostruire il flusso d'aria verso questa zona ponendo ostacoli davanti alle aperture (muri, arredi, elementi decorativi, ecc.);
- è sconsigliato di porre le aperture interne della torre del vento a quote più alte degli spazi interni, perché non si otterrebbe il raffrescamento naturale alle quote delle attività abitative e lavorative.

Camino solare

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Negli edifici urbani dove ci sono facciate fisse orientate a ovest, si possono sfruttare le capacità di estrazione del calore adottando il sistema a camino solare;
- costruire il camino sul lato che riceve il soleggiamento estivo e lasciare delle aperture di uscita nella parte superiore del camino come anche negli spazi interni dell'edificio;
- si possono realizzare entrate per l'aria fredda sul lato sopravvento. In questo modo le forze di risalita dovute alla differenza di temperatura tra i lati sopravvento e sottovento, con il riscaldamento del sole, aiutano ad indurre flussi di risalita lungo la piastra;
- assicurarsi di poter avere aperture sul lato sopravvento prima di decidere di realizzare un camino.

118 **NO**

- Le aperture laterali del camino dovrebbero essere evitate per prevenire possibili flusso di ritorno;
- evitare di usare materiali riflettenti per le superfici dei lati esterni del camino. Optare per i colori scuri che assorbono una quantità maggiore di energia termica, così da ottenere temperature più alte all'interno del sistema.

Costruzione dei tetti e dei muri ventilati

Le pareti o le coperture con la pelle-forata possono migliorare la dissipazione del calore accumulato all'interno dell'involucro dell'edificio ed interferire con l'accesso solare ai principali muri interni. Con questo tipo di muro e di tetto si previene la condensa del vapore acqueo all'interno della struttura.

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Usare un muro o un tetto ventilato per eliminare il rischio di surriscaldamento dell'involucro dell'edificio, esposto alla radiazione solare. La colonna dell'aria riscaldata all'interno della struttura fluirà verso l'alto per convezione naturale;
- predisporre aperture nelle parti superiore e inferiore della parete, o aperture laterali nei tetti ventilati. L'elemento della costruzione si raffredderà effettivamente espellendo i guadagni di riscaldamento solare eccessivi, quindi mantenendo una temperatura interna vicina a quella dell'aria esterna. Questa tecnica è stata largamente applicata ai tetti ventilati ed è applicabile anche ai muri;
- le aperture superiori di una parete ventilata dovrebbero essere protette dalla penetrazione della pioggia.

NO

- Non chiudere i fori delle aperture del muro o del tetto ventilato perché ciò incrementa il rischio di surriscaldamento del muro come anche degli spazi interni adiacenti;
- le aperture inferiori di una parete ventilata dovrebbero essere regolarmente ispezionate e gli ostacoli che bloccano la circolazione dell'aria rimossi. Per la protezione si potrebbe usare una griglia metallica.

Lucernari e aperture sul tetto

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Predisporre lucernari o aperture nel tetto per consentire l'accesso solare diretto all'interno dell'edificio durante l'inverno e facilitare la ventilazione naturale, e di conseguenza il raffrescamento naturale, durante l'estate.

NO

- Si sconsiglia di lasciare le aperture senza una protezione dal sole. La riduzione del carico di raffrescamento attraverso la ventilazione sarebbe eliminato dall'ingresso della radiazione solare diretta agli spazi interni.

Strategie di raffrescamento tramite il terreno

Contatto diretto

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Vi sono alcuni vantaggi nel costruire edifici o piani interrati: protezione dal rumore, dalla polvere, dalle intemperie e dalla radiazione solare; infiltrazione limitata; e una sicurezza potenzialmente maggiore;
- gli edifici o piani interrati possono avere benefici termici sia nelle condizioni di raffrescamento sia di riscaldamento. In queste costruzioni si ottiene la massima utilizzazione delle capacità termiche della massa del suolo;
- la possibilità di costruire tali edifici a grande scala è piuttosto limitata, specialmente nelle aree urbane, ad eccezione forse delle aree urbane nelle zone montane.

NO

- Si sconsiglia la realizzazione di edifici o piani interrati in una costruzione con una richiesta elevata di luce naturale;
- non sottovalutare i problemi correlati alle costruzioni interrate, quali gli elevati costi di costruzione, la scarsa luce naturale e l'umidità dalla quale il manufatto dovrà essere protetto.

Condotti interrati

La tecnica dei tubi interrati dovrebbe essere usata per pre-riscaldare l'aria. I punti da notare sono i seguenti:

- Per la realizzazione dei sistemi a tubo interrato si possono utilizzare tubi in plastica o in metallo inossidabile;
- piazzare i tubi ad una certa profondità nel terreno (non meno di 1.50 m). L'entrata dell'aria esterna nei tubi dovrebbe essere in una zona in ombra, preferibilmente con correnti d'aria fredda. L'aria viene quindi introdotta nell'edificio tramite i tubi;
- il calo di temperatura dell'aria in circolo è in funzione della temperatura a bulbo-asciutto dell'aria in ingresso, della temperatura del suolo e delle caratteristiche termiche del suolo e dei tubi, come anche della velocità dell'aria e delle dimensioni dei tubi.
- all'interno dei tubi si dovrebbero usare apposite ventole per forzare il movimento dell'aria se il sistema non è sufficiente.

Tetto a spruzzo

Negli edifici urbani multipiano il beneficio di questa tecnica (Figura 16.78) dovrebbe influire prevalentemente sull'ultimo piano.

Seguono considerazioni positive e negative.

SI

- Questa semplice installazione non richiede più di un sistema di tubi esterni per la fornitura d'acqua e la capacità di spruzzare la copertura piana dell'edificio. Sotto l'influenza dell'acqua la temperatura del tetto rimane costante. L'operazione è piuttosto efficiente al punto tale che può essere attenuato più del 90% del carico solare sul tetto. Il vantaggio principale di questa tecnica è l'eliminazione delle espansioni e dei ritiri rapidi degli elementi costruttivi che danneggiano i materiali dei vari strati della copertura.

NO

- Si sconsiglia di usare la tecnica del tetto-a-spruzzo se la pendenza del tetto non permette un rapido deflusso dell'acqua e/o se esso non è altamente impermealizzato;
- evitare di usare la tecnica del tetto-a-spruzzo se il clima locale è umido durante il periodo freddo, perché la sua efficienza decresce drammaticamente.

Roof pond

L'effetto rinfrescante del roof pond è lo stesso dei sistemi a spruzzo. La differenza principale consiste nella elevata capacità termica che un tetto con bacinelle fornisce.

Il sistema, se fosse trasformato in una piscina su un tetto piano, potrebbe essere applicato agli edifici urbani, come gli hotels e i centri sportivi e di fitness. Comunque, il costo elevato di costruzione e i problemi derivanti dai requisiti di impermeabilizzazione del tetto non consentono un'applicazione estesa di questa specifica strategia di raffrescamento.

Strategie di illuminazione naturale

L'illuminazione naturale assume un ruolo importante negli edifici urbani, e specialmente negli uffici, negli ospedali, nelle fabbriche e nelle scuole, le cui esigenze di illuminazione sono estremamente elevate (in qualità e quantità). Inoltre, quando l'illuminazione naturale fornita viene incrementata, il bisogno di illuminazione artificiale si riduce e di conseguenza vi è un consumo più basso della costosa energia elettrica.

La finestra, come è stato più volte accennato, costituisce un componente base dell'involucro, che permette un legame tra l'interno dell'edificio e l'ambiente esterno. Questa funzione rende possibile l'illuminazione naturale e la ventilazione, insieme con le viste dell'intorno e il riscaldamento solare passivo dell'interno.

Il tipo, la dimensione, la forma, la posizione e l'orientamento delle aperture, affiancati da vari sistemi di controllo, sono i fattori di base che influiscono sulla quantità e sulla distribuzione della luce nello spazio da illuminare.

Linee guida

Seguono considerazioni positive e negative:

SI

- Nella prima fase di progetto, tenere conto dei requisiti dell'edificio in termini di illuminazione, riscaldamento e raffrescamento. Qualunque svista fa incrementare il carico energetico dell'edificio, e

- gli interventi in una fase successiva, quando l'edificio è già in uso, in molti casi sono troppo difficoltosi e antieconomici da attuare;
- scegliere la posizione degli spazi e il loro orientamento in relazione al loro uso e all'importanza dell'illuminazione naturale per questi spazi;
 - per gli obiettivi di illuminazione naturale, assicurarsi che vi siano aperture a sud. Esse forniscono alti livelli di illuminazione e guadagni solari termici alti in inverno e medi in estate;
 - optare per la divisione della superficie illuminante totale in aperture più piccole. Più di una apertura produce una diffusione della luce più uniforme;
 - per ottenere una maggiore distribuzione della luce all'interno, posizionare le aperture in punti alti e centrali delle murature perimetrali;
 - si raccomanda l'uso di vetri avanzati (con un basso e , bassi valori- U e alta trasmittanza della luce), per controllare le dispersioni termiche, i guadagni termici e un'alta penetrazione della luce diurna. Questa misura è considerata particolarmente importante per le aree in cui i requisiti di illuminazione naturale richiedono ampie superfici vetrate;
 - per le pareti interne, il soffitto e il pavimento, scegliere superfici con un valore alto di riflessione, per minimizzare la quantità di luce persa;
 - tenere a mente che generalmente una stanza risulterà adeguatamente illuminata ad una profondità da 2 a 2.5 volte l'altezza della finestra dal pavimento, pertanto le stanze più alte possono essere illuminate ad una profondità maggiore;
 - predisporre le aperture su entrambi i lati dell'edificio per uniformare l'illuminazione quando le esigenze d'uso degli spazi lo richiedono, come nel caso delle scuole, degli uffici, delle fabbriche, ecc.;
 - per rafforzare un'illuminazione laterale insufficiente, si raccomanda l'uso di luce dal tetto, che fornisce un'illuminazione più uniforme;
 - le luci dal tetto, con gli appropriati sistemi di ombreggiatura, sono preferibili per illuminare gli spazi molto profondi. Si raccomanda anche di scegliere l'orientamento a sud così da usare non solo la luce diurna ma anche i guadagni solari termici.
 - se si sceglie di usare un atrio interno come tecnica di illuminazione naturale, ricordare che esso fornisce anche riscaldamento passivo;

- optare per un atrio a pianta quadrangolare, la cui altezza non dovrebbe superare l'ampiezza, per assicurare livelli di illuminazione corretta in tutte le aree. Più un atrio è alto in relazione alla sua ampiezza, più è ridotto l'apporto di luce diretta che raggiunge i piani più bassi;
- scegliere materiali ad alto potere riflettente per le superfici esterne che si affacciano su un atrio per ottenere una buona penetrazione della luce diurna negli spazi adiacenti. Questa misura è particolarmente importante per i piani superiori, per massimizzare la riflessione decrescente della luce, e inoltre per migliorare l'illuminazione dei piani inferiori;
- assicurarsi che il sistema strutturale del lucernario dell'atrio non riduca la dimensione dell'area di entrata della luce;
- assicurarsi che la copertura dell'atrio sia opportunamente ventilata e ombreggiata in modo tale da evitare il surriscaldamento dello spazio interno durante l'estate. E' preferibile una schermatura esterna regolabile;
- ridurre la dimensione delle aperture ai piani superiori dell'atrio e aumentare quella delle aperture ai piani inferiori. Le superfici vetrate non riflettono la luce come le superfici lisce e bianche dei muri;
- selezionare i materiali per il pavimento dell'atrio che hanno un alto potere riflettente. Un tipo di marmo o di piastrella di colore chiaro sarebbe una scelta eccellente. Se si ritiene opportuno, usare anche speciali riflettori. Prendendo questi provvedimenti, e progettando anche stanze poco profonde, si può aumentare il livello di illuminazione dei piani inferiori;
- proteggere dal sole la superficie vetrata dei piani superiori di un atrio per evitare problemi di abbagliamento;
- realizzare mensole sporgenti sulle aperture a sud. Esse sono efficaci in questa posizione perché riflettono più luce diurna nella profondità delle stanze;
- per evitare l'abbagliamento, le mensole riflettenti la luce dovrebbero essere realizzate al di sopra del livello dell'occhio umano;
- sulla superficie superiore delle mensole riflettenti la luce usare materiali altamente riflettenti, come l'alluminio, gli specchi un materiale molto lucido, per dirigere un'elevata quantità di luce all'interno. I soffitti di ogni stanza dovrebbero essere altrettanto molto riflettenti, per riflettere la luce del sole nella profondità delle stan-

- ze;
- assicurarsi che le superfici inferiori delle mensole riflettenti la luce siano riflettenti solo nei casi in cui è stato previsto un sistema riflettente all'esterno, il cui scopo è quello di illuminare i pavimenti interni;
 - preferire le sporgenze retrattili alle mensole riflettenti la luce (hanno la stessa funzione in termini di illuminazione naturale) se si desidera una maggiore flessibilità nell'uso del sistema di illuminazione. Quando le sporgenze sono completamente chiuse nei giorni nuvolosi, non si prevede l'entrata della luce;
 - la tecnica dei condotti di luce comprende di una struttura complessa e pertanto costosa. La captazione della luce del sole prevede congegni fissi o mobili all'apice del condotto, appositamente progettato per reindirizzare i fasci luminosi nelle zone che hanno seri problemi di illuminazione o sono completamente buie. La superficie interna del condotto dovrebbe essere altamente riflettente, o possedere un sistema di specchi per dirigere la luce nell'area desiderata.

NO

- Si sconsiglia, a proposito dell'illuminazione naturale, di progettare gli edifici multipiano con una grande profondità. Si deve prestare particolare attenzione agli edifici per uffici, alle stanze per l'insegnamento, alle fabbriche, ecc. e in generale dove si prevedono precise attività in posizioni fisse. Una grande profondità delle stanze provoca un uso intenso dell'illuminazione artificiale un alto consumo di energia elettrica, spesso maggiore di quella utilizzata per irscaldare gli spazi;
- non sottovalutare l'importanza dell'illuminazione naturale (luce diurna) e valutare attentamente il suo rimpiazzo con la luce artificiale. A parte gli effetti psicologici sugli utenti dell'edificio e gli effetti di comfort visivo, il rimpiazzo della luce naturale con la luce artificiale ha effetti negativi sulle condizioni interne d'uso durante il periodo estivo. Specie negli edifici urbani per uffici, negozi, ecc., il calore prodotto dall'uso di luce artificiale causa problemi considerevoli, specie in estate, in termini di aumento di guadagni termici interni. C'è una crescita della temperatura interna, che causa il non-comfort degli abitanti e un incremento del carico di raffrescamento e dell'energia consumata dall'uso del raffrescamento artificiale;
- non posizionare spazi usati costantemente durante l'anno o basi

- fisse di lavoro (uffici ad esempio) sui lati orientati a est o ad ovest. I livelli di illuminazione su questi lati sono bassi. Bisogna ricordare che in questi orientamenti è difficile ombreggiare le aperture dal sole estivo, e allo stesso tempo vi sono problemi ben noti di abbagliamento e di surriscaldamento che causano il fastidio degli abitanti;
- tenere a mente che le aperture a nord forniscono poca illuminazione, sebbene costante durante tutto il giorno. I guadagni termici solari sono minimi;
 - fare attenzione a prevenire l'ombreggiatura eccessiva delle finestre da parte delle costruzioni vicine, degli alberi o altri ostacoli;
 - evitare aperture orizzontali per l'illuminazione dal tetto perché, sebbene esse migliorano l'illuminazione naturale degli interni, aumentano anche il pericolo di surriscaldamento durante l'estate a causa della luce verticale del sole;
 - specie negli atri molto profondi, non usare colori scuri sulle superfici dei muri. Con la riduzione del potere riflettente dell'interno, l'atrio diventa meno efficace come tecnica di illuminazione naturale;
 - evitare di usare dispositivi di ombreggiatura fissi sul tetto dell'atrio. Tali installazioni riducono la dimensione dell'area di entrata della luce;
 - l'uso di aperture grandi ai piani superiori dell'atrio non è suggeribile. Esse fanno aumentare il rischio di ridurre la quantità di luce che raggiunge i livelli inferiori;
 - l'uso di vetri riflettenti è sconsigliato, specialmente negli orientamenti a sud. Esso ostacola l'entrata della luce naturale, come anche dei guadagni termici solari in inverno;
 - evitare di usare un vetro smerigliato nel caso in cui è richiesto un contatto visivo con l'esterno. Usarlo quando c'è un serio problema di abbagliamento;
 - non scegliere colori scuri per il soffitto dello spazio se si applica la tecnica di auto-illuminazione. Il soffitto deve avere un alto valore di riflessione;
 - evitare mensole interne. Esse impediscono alla luce diurna di entrare nello spazio;
 - non dimenticare di usare sistemi di ombreggiatura atti a ostacolare luce del sole e i guadagni termici dovuti alla radiazione solare nei giorni e nelle stagioni quando questi non sono desiderati.

126 **Bibliografia**

- Santamouris M., *Energy and climate in the urban built environment*, James&James, London, UK, 2001;
- AA.VV., *A green vitruvius, principles and practice of sustainable architectural design*, James&James, London, UK, 1999;
- Givoni B., *Climate considerations in building and urban design*, Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1998;
- J. R.Goulding, J. O. Lewis, T. C. Steemers, *Energy conscious design, a primer for architects*, Batsford, London, UK, 1992;
- Matteoli L., *Azione ambiente*, edizioni libreria cortina, Torino, 1977;
- Chandler, T.J., *Urban climatology and its relevance to urban design*, Technical note n.149. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 1976;
- De Pascalis S., *Progettazione bioclimatica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2001;
- AA.VV. *La città del sole*, atti convegno internazionale, Trieste, 1985;
- Knowles R., *Sun Rhythm Form*, The MIT Press, London, 1981;
- Knowles R., *"The solar envelope"* atti PLEA 2000 – Architecture City Environment, James&James, London, UK, 2000;
- AA.VV. *The climatic dwelling*, James&James, London, UK, 1996;
- Olgay V., *Progettare con il clima*, Franco Muzio, Padova, 1981;
- Oke T.R., *Boundary Layer Climates*, Cambridge University Press, 1987;
- Ruano M., *Ecourbanismo, entornos humanos sostenibles*, Editorial Gustavo Gili, Barcellona, 1999