

### 3 La Casa Passiva nelle regioni mediterranee.

#### 3.1 Introduzione

Il naturale aumento dei consumi di energia nell'Europa mediterranea degli ultimi 10-15 anni dipende essenzialmente dalla diffusione degli impianti tradizionali di raffrescamento estivo dell'aria. In Italia, nel decennio 1990-2000, le unità installate sono più che decuplicate, analogamente in Grecia e in Spagna, triplicate in Portogallo.

Altro parametro di grande influenza sulla richiesta di raffrescamento estivo degli edifici è stato, nelle ultime due decadi, l'impatto dell'urbanizzazione; in particolare l'effetto degli aumenti delle temperature dei centri urbani e il fenomeno delle "isole di calore", con il conseguente picco di carico elettrico e il diminuito rendimento degli stessi. Negli Stati Uniti, in città con popolazione superiore ai centomila abitanti si è valutato un aumento del picco di consumo elettrico del 25 – 35% per ogni grado centigrado di incremento della temperatura urbana estiva pomeridiana; ciò porta ad un aumento della richiesta di elettricità compreso fra il 3 e l'8% solo per compensare l'effetto "isola di calore". L'esperienza di Los Angeles conferma l'esistenza di correlazione tra l'effetto "isola di calore" nei climi caldi e molto caldi, e il drastico aumento di quasi 500 MW per °C di aumento.

Dal 1950 la temperatura di picco della zona di Los Angeles è aumentata in misura tale da comportare una maggiore richiesta energetica, di circa 1,5 GW, per rispondere al solo effetto "isola di calore" (Figura a pagina seguente).

La correlazione è confermata da osservazioni in altri distretti USA: per esempio a Dallas (Texas) un incremento di 417 MW/°C, a Washington 167 MW/°C.

Sulla base di questi osservati incrementi (USA) si è calcolato che i costi dell'elettricità, solo per il fenomeno dell'"isola di calore", possono ammontare a 1 milione di Euro/h, e che per l'intero paese l'aumento del carico elettrico potrebbe andare dallo 0,8 al 5% per ogni aumento di 1°C della temperatura.

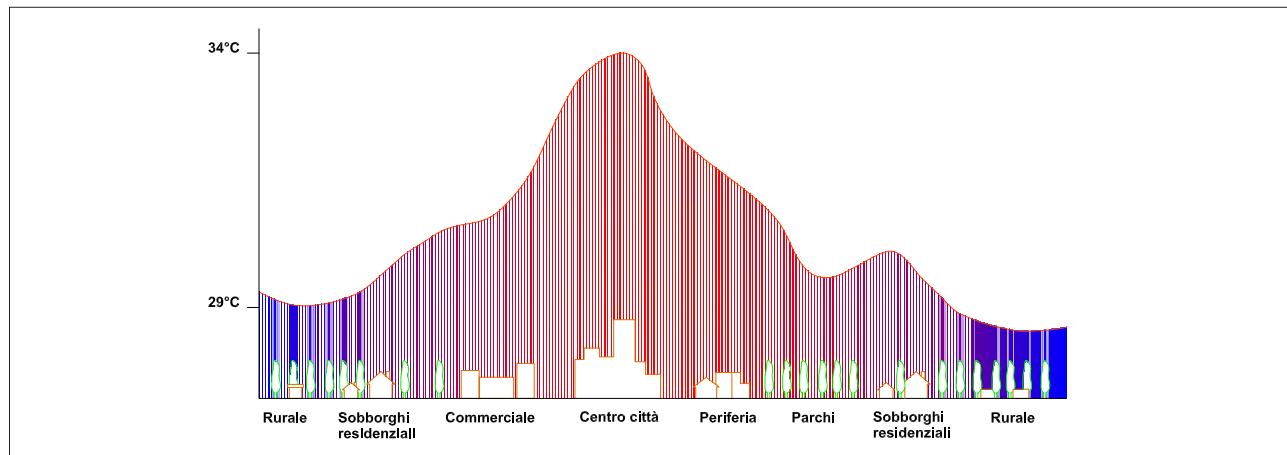
Studi compiuti a Singapore negli anni '90 sul fenomeno delle "isole di calore" urbane, mostrano che tale fenomeno può portare ad un aumento della temperatura urbana di circa 1°C (gradiente urbano proiettato sui prossimi 50 anni) che da solo porterebbe ad un incremento globale dei consumi energetici, prevalentemente per il condizionamento dell'aria, dell'ordine dei 33 GWh/a (si veda anche Santamouris – Asimacopoulos in Bibliografia). Agli inizi degli anni '90, studiosi giapponesi, usando i rilievi del satellite LANDSAT-5, hanno analizzato la distribuzione di temperatura e l'ambiente termico dell'area metropolitana di Tokyo; studi precedenti, sempre relativi

all'area di Tokyo, hanno mostrato che, sempre per effetto del fenomeno dell'isola di calore, il carico energetico per il raffrescamento degli edifici esistenti è aumentato mediamente del 10-20% nell'arco di 10 anni.

Sistematici rilievi (con una rete di stazioni di monitoraggio) sono stati condotti – negli anni '90 – anche nell'area urbana regionale metropolitana di Atene.

Sono state realizzate mappe "iso carico" per il raffrescamento dalle quali si evince – a conferma dell'effetto "isola di calore" – la variazione spaziale di tale carico passando dal centro storico alla periferia della grande regione metropolitana: tale carico che ha valori dell'ordine di 10 (o più) kWh/m<sup>2</sup> mese nel centro storico, si dimezza passando alle aree periferiche, in cui, oltre a densità residenziale molto inferiore, vi è presenza di spazi verdi e assenza di attività industriali.

I ricercatori greci hanno anche valutato la potenza di picco istantanea – nel mese di agosto – assorbita da un edificio di riferimento con un "set point" di 26°C: si passa da 20 – 25 kW di picco nel centro storico di Atene ai 13 – 15 kW nelle zone periferiche di cui si è accennato poc'anzi.



C'è un'altro fattore che aggrava il carico energetico: elevate temperature locali urbane hanno notevole impatto sul rendimento degli impianti tradizionali di condizionamento; il COP (coefficiente di prestazione) è direttamente influenzato dall'umidità relativa e dalla temperatura, ciò è confermato dai rilievi del COP nell'area metropolitana di Atene. Il COP minimo assoluto (75%) è quello registrato nel centro storico e nelle aree costiere (influenzato dall'elevata umidità), mentre nelle aree periferiche sale a oltre 100.

### **La riduzione dei consumi per il raffrescamento estivo.**

È un problema molto importante e di grande impatto sul futuro energetico delle regioni meridionali dell'Europa.

Delineiamo un quadro di possibili soluzioni:

- miglioramento del microclima locale con interventi sull'ambiente urbano (aree verdi, pozzi di raffreddamento, ecc...);
- ristrutturazione degli edifici urbani per l'adattamento alle specifiche condizioni ambientali delle metropoli, al fine di incorporare misure di risparmio energetico che bilancino le sfavorevoli condizioni termocinetiche urbane; indicativamente: opportuno dimensionamento delle finestre, opportuno isolamento dell'involucro edilizio, promozione di impianti di controllo dell'aria e luce, promozione di impianti solari, promozione di impianti di raffrescamento estivo;
- uso di sistemi di condizionamento (a livello di edificio), con curve di COP ottimizzate per l'esercizio con temperatura e umidità tipicamente urbane;
- uso di sistemi centralizzati di produzione, gestione e distribuzione del raffrescamento (reti di raffrescamento, raffrescamento di quartiere);

Va peraltro messo in evidenza che nessuna delle precedenti misure va intesa come iniziativa isolata, ma la stretta correlazione tra i parametri che contribuiscono a definire il rendimento energetico di fabbricati inseriti nel contesto urbano richiede che le varie iniziative siano coordinate in un approccio integrato.

## Canoni tradizionali di progettazione nelle regioni mediterranee.

**L'edilizia nel passato** era differenziata per climi:

### **Climi caldi e secchi**

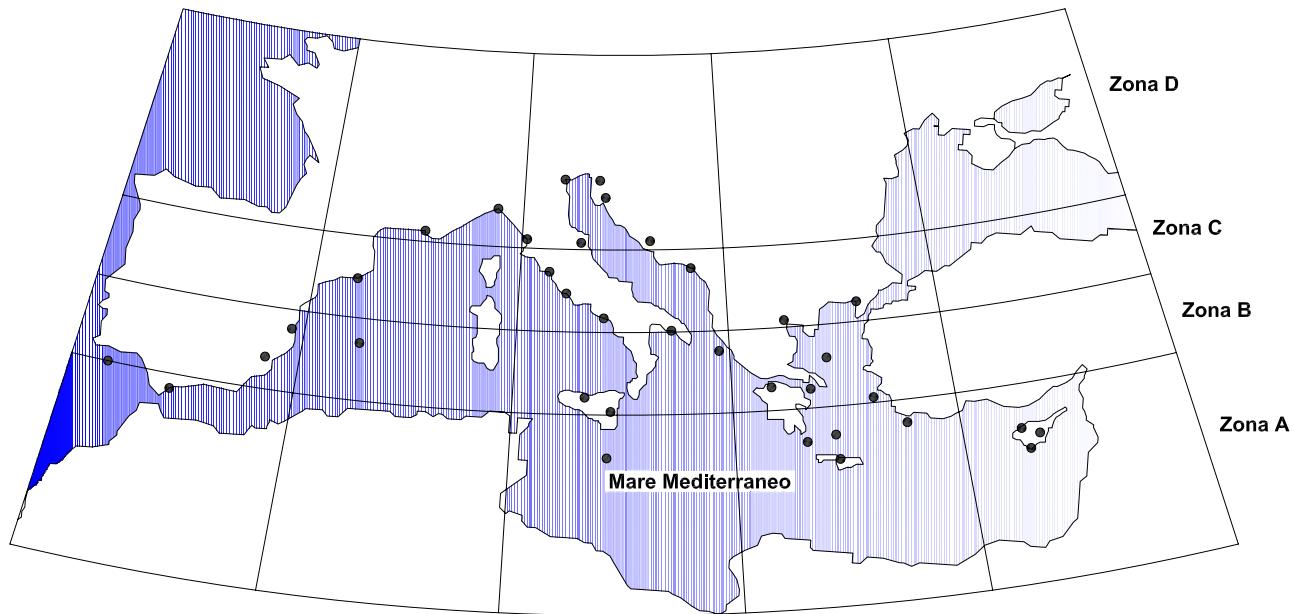
- Costruzioni con involucro massiccio;
- Poche aperture e di ridotte dimensioni;
- Superfici involucro: colori chiari;
- Fontane, piscine, vegetazione: favoriscono il raffreddamento per evaporazione.

### **Climi caldi e umidi: serve ventilazione**

- Costruzioni leggere;
- Grandi aperture;
- Gronde molto sporgenti.

**L'edilizia moderna** ha purtroppo uno “stile” uniforme indipendente dalle diverse regioni climatiche e la progettazione avviene a compartimenti stagni:



**Zone climatiche mediterranee.****LATITUDINI**Zona A  $\varphi < 37^\circ$  NZona B  $37^\circ < \varphi < 40^\circ$  NZona C  $40^\circ < \varphi < 43^\circ$  NZona D  $\varphi > 43^\circ$  N

### **3.2 Le tecniche di controllo energetico passivo per edifici nei climi caldi.**

Peculiarità delle Case Passive in climi caldi è di avere un buon comportamento termocinetico anche nel periodo estivo.

Ciò essenzialmente si traduce in:

una capacità dell'involucro di isolare adeguatamente l'interno dall'esterno durante le ore calde diurne ed in una capacità del sistema di smaltire durante la notte il calore diurno accumulato dalle pareti.

Tutte le realizzazioni sono basate su tre principi:

#### **Principio I : minimizzare (prevenire) i guadagni di calore esterni ed interni.**

##### **Interni:**

l'energia liberata dalle persone, dagli apparecchi elettrici, dalle fonti luminose ecc., che non fanno parte del riscaldamento hanno spesso un significativo effetto sul clima interno. Mantenere i carichi interni al minimo ha un doppio vantaggio: sul costo energetico e sulla riduzione dei consumi per raffrescare l'aria.

##### **Esterni:** radiazione solare

i guadagni solari sono favorevoli nel periodo invernale, ma nel periodo estivo possono provocare surriscaldamento aumentando la richiesta energetica per il raffrescamento dell'edificio. La radiazione solare, durante l'estate, può diventare il più grande carico termico all'interno di una costruzione: di conseguenza è consigliabile adottare forme di protezione particolari sui lati sud e ovest dell'edificio.

#### **Principio II : modulare e sfasare nell'arco della giornata i guadagni di calore.**

#### **Principio III : rimuovere il calore**

La ventilazione è estremamente utile per la rimozione del calore ma si devono evitare infiltrazioni di aria esterna quando le temperature esterne sono superiori a quelle interne. Utile per raffreddare la massa termica dell'edificio è la ventilazione notturna, con l'aria che prima

---

di essere messa in circolo negli edifici viene raffreddata in condotti sotterranei, in scantinati, parcheggi sotterranei o giardini adiacenti alla costruzione.

Più in dettaglio, i 3 canoni precedenti:

**1)** tecniche per proteggere l'edificio dai guadagni di calore (da irraggiamento solare e calore ambientale) agendo su:

- isolamento termico dell'involucro
- forma dell'edificio
- ombreggiamento superfici (controllo solare) e finestratura superficiale esterna
- controllo dei guadagni termici (inerzia termica) e interventi sul paesaggio

**2)** tecniche per “modulare” i guadagni termici:

adottando strategie di “smorzamento” e di “sfasamento” dei carichi termici nell’arco della giornata, spostandoli verso le ore notturne. Questa strategia può portare notevole attenuazione dei picchi di richiesta di raffrescamento nelle ore più calde (cicli di immagazzinamento termico e successivo scarico). Questo approccio è tanto più promettente quanto più intense sono le escursioni della temperatura esterna giornaliera,

**3)** tecniche di dissipazione del calore utilizzando mezzi naturali.

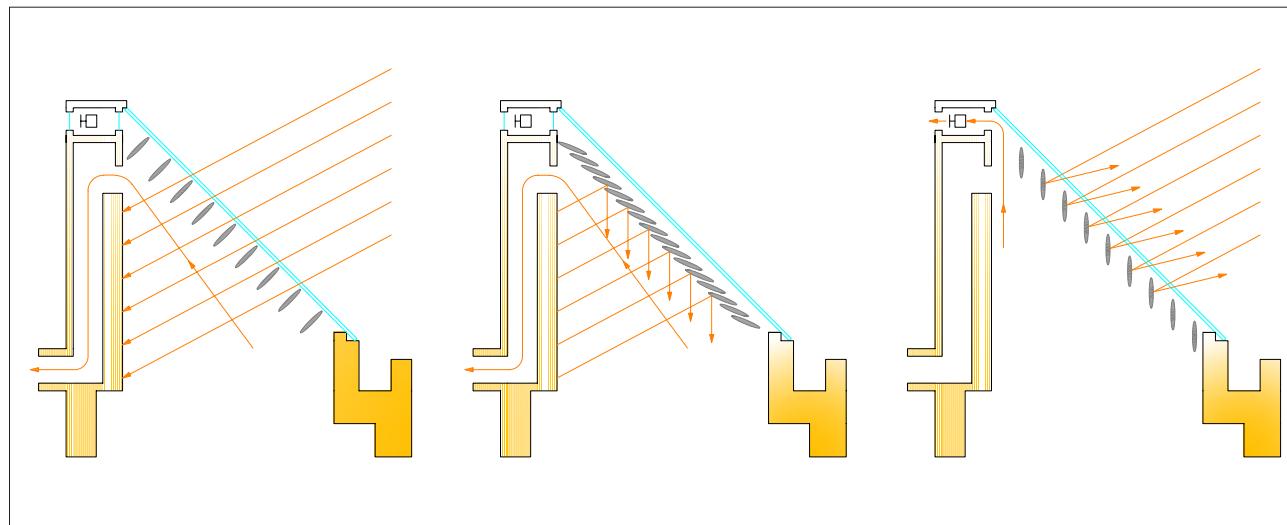
I principali processi sono:

- raffrescamento radiativo, utilizzando come “pozzo termico” il cielo;
- raffrescamento evaporativo, utilizzando come “pozzo” l’aria o l’acqua;
- raffrescamento convettivo, usando come “pozzo” l’aria;
- raffrescamento, usando come “pozzo” il terreno (georaffrescamento).

Nei paragrafi che seguono vengono scelti alcuni dei precedenti punti ed esaminati più da vicino, con esempi.

### 3.3 Il controllo solare: un esempio

Gli elementi parasole del lucernario dell'aeroporto della contea di Albany, controllati da un calcolatore, regolano l'immissione di luce solare. In un luminoso giorno invernale la luce solare riscalda la parete, dietro alla quale viene incanalata l'aria che così riscaldata viene fatta circolare nell'edificio. Di notte gli elementi parasole, pieni all'interno di materiale isolante, vengono chiusi per intrappolare il calore. In estate riflettono la luce solare diretta, ma consentono il passaggio della luce diffusa. Al di sotto del lucernario si accumula aria calda che viene allontanata per mezzo di aspiratori a ventola.



### Un semplice modello matematico per le schermature solari.

La presenza di tapparelle o di schermi esterni abbassati riduce la trasmittanza termica del serramento che può essere calcolata dalla seguente relazione:

$$U_{fs} = (1/U_s + \Delta R)^{-1}$$

Dove:

$U_{fs}$  trasmittanza termica del serramento con tapparella abbassata (W/m<sup>2</sup>K);

$U_s$  trasmittanza termica del serramento base (W/m<sup>2</sup>K);

$\Delta R$  resistenza termica aggiuntiva (m<sup>2</sup>K/W).

In tabella sono riportati alcuni valori di resistenza termica aggiuntiva per alcune tipologie di tapparelle (fonte UNI 103454/93).

Tipo di tapparella	$\Delta R$ (m <sup>2</sup> K/W)		
	Bassa permeabilità all'aria	Media permeabilità all'aria	Alta permeabilità all'aria
Alluminio	0.15	0.12	0.09
Legno e plastica senza isolante	0.22	0.16	0.12
Legno e plastica con isolante	0.26	0.19	0.13
Legno (da 25 a 30 mm)	0.30	0.22	0.14

### **3.4 Controllo dei carichi interni con tecniche di modulazione dei guadagni termici**

Involucri ad elevata massa termica (muratura, calcestruzzo, elevati spessori) funzionano da serbatoi sia per il caldo sia per il freddo e si riscaldano e si raffreddano lentamente; da ciò consegue l'attenuazione dei picchi di temperatura interna e immissione sfasata di calore, cioè ritardata al tardo pomeriggio e alla sera (a temperature esterne più basse); inoltre riducono il flusso termico che raggiunge l'interno, poiché parte del calore, immagazzinato durante il giorno nell'involucro viene re-irradiato all'esterno, che nelle ore serali e notturne è a temperatura inferiore.

Nei climi freddi l'importanza dell'isolamento termico degli edifici è ben nota e codificata in letteratura.

Nei climi caldi il problema invernale della protezione dal freddo è, ovviamente, molto meno sentito e dunque risolto con modesti spessori dell'isolamento termico. Questo stato di cose ha storicamente impedito di valutare nel tempo l'importanza dell'isolamento termico nella protezione estiva degli ambienti interni: esso gioca in realtà un ruolo significativo nel calcolo dei carichi di raffrescamento e, dunque, sulla qualità della risposta estiva dell'edificio.

La tecnica dell'isolamento termico sulla faccia esterna dell'involucro (“cappotto”) consente, nella stagione invernale, sia di trattenere all'interno il calore prodotto sia di prevenire le perdite attraverso i ponti termici. Nella stagione estiva consente di controllare l'azione dell'irraggiamento solare sulle superfici dell'involucro. In lavori di adeguamento energetico di edifici esistenti la tecnica 'a cappotto' consente interventi non invasivi.

Per motivi opposti a quelli esposti al punto precedente, la tecnica dell'isolamento termico sulla superficie interna della parete presenta complessivamente vari limiti tecnici e si presta a critiche: in particolare lascia irrisolti il problema della schermatura dei ponti termici e quello del benessere fisiologico igrotermico degli abitanti.

Acquista significato in applicazioni particolari come nel caso di adeguamento energetico di beni storico-architettonici, ove rigidi vincoli impediscono interventi sulla superficie esterna dell'involucro.

Torna ad essere tecnicamente interessante la soluzione dell'isolamento termico in intercedine che consente di proteggere il materiale isolante dalle azioni meteo esterne. L'intercedine che alloggia l'isolamento può anche essere ventilata, con il paramento esterno funzionante da protezione per il 'pacchetto' costituito da isolante e paramento interno.

## I problemi tipici

Possiamo anziutto distinguere tra due problemi caratteristici:

- si vuole la valutazione delle potenze scambiate ora per ora nel giorno estivo più sfavorevole, oppure
- si vuole stimare l'energia primaria richiesta per mantenere l'ambiente interno ad una prefissata temperatura.

Il primo problema comporta in generale integrazioni nel tempo; infatti l'andamento temporale dei fenomeni termici estivi è “non stazionario” per la rapida variazione nel tempo delle grandezze in ingresso (p. es. la radiazione solare incidente). Per considerare invece il ruolo dell'involucro opaco dell'edificio possiamo distinguere tra i seguenti due casi limite ideali:

- se la parete presenta una “costante di tempo”  $\tau << 24$  h il flusso termico da esterno a interno avviene - teoricamente - senza attenuazione e senza ritardo
- se invece la parete ha  $\tau >> 24$  h, l'involucro è in grado di annullare l'effetto delle oscillazioni termiche esterne e - teoricamente - il flusso termico entrante risulta istantaneamente costante.

$$\tau \text{ (rapporto tra "capacità termica" } C \text{ [kJ/K] e "coefficiente di dispersione termica" } H \text{ [W/K])} \quad H = \sum_i A_i U_i \text{ [W/K]} \quad \tau = \frac{C}{H} \text{ [h]}$$

L'involucro opaco reale ha invece un comportamento intermedio tra i due comportamenti limite precedentemente descritti: il flusso entrante è variabile, ma con ampiezza smorzata rispetto a quella dell'onda incidente, e ritardato (“sfasato”) rispetto all'onda incidente; tale ritardo è tanto maggiore quanto maggiore è la costante di tempo  $\tau = C/H$  della parete (dipende della capacità termica  $C$  del muro e dall'isolamento termico che influenza il valore di  $H$ ).

Indicativamente:

parete leggera non isolata:  $\tau = 25$  h

parete media isolata:  $\tau = 60$  h

parete pesante ben isolata:  $\tau = 120$  h

Tornando ai problemi delineati a inizio paragrafo, quando esistono le condizioni per ipotizzare la «quasi stazionarietà» si potrebbe bypassare l'integrazione delle equazioni differenziali e lavorare semplicemente su “valori medi”, quando esistono incertezze sui valori medi si può ulteriormente semplificare fissando dei “valori obiettivo” e procedendo poi a introdurre correzioni (trial and error).

### Equazione differenziale della dinamica della temperatura dell'aria interna.

$$mc \frac{dT_a}{dt} = \sum_{j=1}^{j=n} Q_{c,j} + Q_{c,v} + Q_{c,i} + Q_{s,r}$$

In cui

- $m$  = massa dell'aria interna, kg,  
 $c$  = calore specifico dell'aria interna,  $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$   
 $T_a$  = temperatura dell'aria interna,  $^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t$  = tempo, s,  
 $n$  = numero di componenti formanti l'involucro esterno,  
 $Q_{c,j}$  = portata di calore attraverso ciascuna superficie  $j$ , W,  
 $Q_{c,v}$  = portata di calore scambiato per ventilazione, W,  
 $Q_{c,i}$  = portata di calore da fonti interne, W,  
 $Q_{s,r}$  = portata di calore da fonte solare, W.

Conduzione termica attraverso l'involucro:

in cui:

$$\frac{d}{dx} = \left( \lambda \frac{dT}{dx} \right) = \rho c \left( \frac{dT}{dt} \right)$$

$\lambda$  = conduttività termica del materiale,  $\text{W/mK}$   
 $T$  = temperatura funzione di posizione e tempo  
 $\rho$  = densità del materiale  $\text{kg/m}^3$   
 $c$  = calore specifico del materiale,  $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

### 3.5 Tecniche di abbattimento (dissipazione/trasferimento) del calore in ingresso

Si adottano quando le misure di “prevenzione” e “modulazione” non bastano al controllo del guadagno termico.

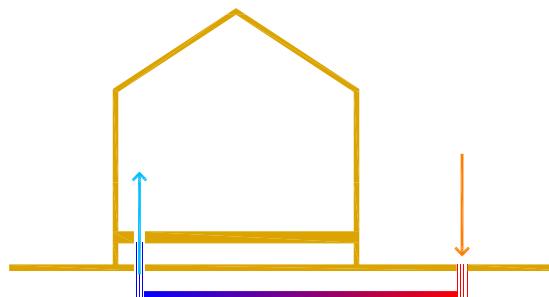
Principali tecniche di trasferimento di calore:

- raffrescamento indiretto attraverso il terreno;
- raffrescamento per ventilazione (naturale e forzata);
- raffrescamento evaporativo;
- raffrescamento radiativo;

Alcune tecniche hanno effetto immediato; in altre invece il raffrescamento è immagazzinato durante la notte e rilasciato il giorno successivo.

Esaminiamo tre casi:

#### **Raffrescamento indiretto attraverso il terreno (mediante scambiatore interrato):**



## Raffrescamento per ventilazione

Tecnica vantaggiosa in climi con grandi escursioni termiche diurne e temperature notturne non superiori a 20°C. Nella ventilazione notturna l'aria fresca notturna abbassa la temperatura interna; può essere immagazzinata in una "massa serbatoio" (muri, solette, plafoni, rockbed o serbatoi d'acqua)

Il giorno dopo:

taali masse " fredde " assorbono il calore in ingresso (a finestre chiuse) e l'ambiente interno è tenuto fresco.

Il progetto architettonico deve adottare tutte le misure per favorire elevati ratei di ventilazione e in particolare sulle "masse serbatoio".

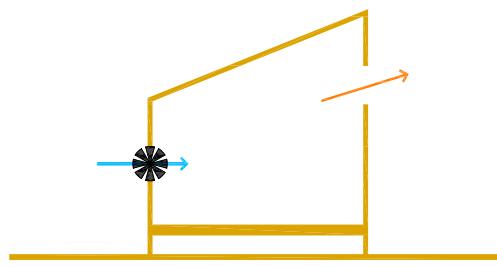
Tipologie di ventilazione:

*Naturale*: indotta da gradienti di pressione o di temperatura



Aperture poste su fronti sopravento e sottovento in corrispondenza tra loro favoriscono la circolazione dell'aria. Se l'apertura di entrata è più piccola di quella in uscita si verifica "l'effetto Venturi", che massimizza la velocità dell'aria all'interno dell'edificio.

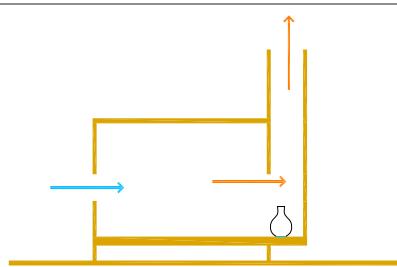
Forzata: gradienti da ventilatore



### Raffrescamento Evaporativo:

Le torri del vento, diffuse storicamente soprattutto in Iran, Egitto, e Pakistan, avevano alla base grandi giare di materiale poroso o vasche fornite di fontane per raffrescare l'aria attraverso il processo di evaporazione.

Il flusso d'aria dà effetto di raffrescamento anche a temperature di  $34^{\circ}\text{C}$  (evaporazione della pelle bagnata) tanto maggiore al decrescere dell'U.R.



## **Il raffrescamento radiativo**

Un corpo caldo emette energia termica e la trasferisce in forma di radiazione elettromagnetica ai corpi a temperatura inferiore che lo circondano.

Nell'emisfero nord gli strati atmosferici superiori sono sufficientemente freddi durante il giorno da costituire un buon “pozzo termico”.

Tecniche di raffreddamento radiativo diretto:

il tetto è il più efficace radiatore (forme curve, materiali ad elevato immagazzinamento termico): assorbe di giorno e scarica di notte (estate: il tetto a 65 °C può radiare 750 W/m<sup>2</sup> alla volta celeste).

Tecniche di raffreddamento radiativo indiretto:

Si raffredda un fluido (acqua o aria) per radiazione alla volta celeste. Il freddo viene immagazzinato in una apposita “massa – serbatoio” (es. vasca d’acqua) o nello stesso involucro-edificio.

## 4 Benessere termoigrometrico

### 4.1 Introduzione

La maggior parte della propria vita le persone la trascorrono all'interno degli edifici: si comprende dunque come il microclima interno degli ambienti confinati assuma grande importanza sulla salute dell'uomo.

A determinare il benessere della persona subentrano diversi parametri quali, la temperatura, l'umidità, l'abbigliamento, l'attività svolta. Grande importanza assume l'umidità relativa correlata alla temperatura, portando ad una alterazione della sensazione di comfort.

Valori indicativi di benessere microclimatico			
Stagione	Temperatura dell'aria	Umidità relativa	Velocità dell'aria
Inverno	19-22 °C	40-50%	0,05-0,1 m/s
Estate	24-26 °C	50-60%	0,1-0,2 m/s

Il bilancio termico dell'uomo è dato dall'equazione:

$$B = M \pm C \pm R - E$$

dove:

M è il calore di produzione metabolica;

C è la conduzione-convezione;

R l'irraggiamento;

E l'evaporazione.

Conduzione-convezione e irraggiamento possono creare effetti negativi o positivi a seconda della temperatura dell'aria e degli oggetti che ci circondano.

La sola presenza continua dell'uomo in un ambiente confinato può alterare profondamente le caratteristiche fisiche e chimiche dell'aria trasformandola in aria viziata. Per consentire una diluizione di queste impurità all'interno degli ambienti è necessario intervenire con adeguati ricambi d'aria.

Il tasso di ricambio d'aria viene calcolato rapportandolo al volume d'aria contenuto nell'ambiente confinato. L'unità di misura è [ $m^3/m^3h$ ], ad esempio un tasso di ricambio d'aria pari a  $0,5 h^{-1}$  significa che in 1 ora viene ricambiata la metà dell'aria contenuta nell'ambiente confinato.

#### **Numero di ricambi d'aria ottimali per diversi ambienti confinati**

Ambiente	Ricambi/ora
Abitazioni	0,5 – 1
Uffici privati	1 – 2
Stanze di degenza ospedaliera	2 – 3
Aule scolastiche, luoghi di riunione, uffici pubblici	4 – 5
Stabilimenti, ristoranti, discoteche	6 – 8
Locali con produzione di vapori e odori	8 – 10
Sale operatorie	10 – 15

## 4.2 Gli inquinanti ambientali

Odori di cucina e corporali:	Gli inquinanti nascosti
vapori d'acqua nell'aria o per uso domestico	allergeni, insetti, animali, pollini
fumi di tabacco e di cottura	radon: il radon (gas radioattivo) è presente in natura ed è contenuto nel terreno
	composti organici volatili (VOC), presenti nei prodotti per la pulizia domestica e nei materiali da costruzione
	monossido di carbonio, il CO si crea per effetto dell'errata combustione nei sistemi di riscaldamento

Una persona in condizione di riposo produce circa 55 g/h di vapore (traspirazione più respirazione). Una stanza di 54 m<sup>3</sup> (4x5x2,7) alla temperatura di 20 °C e al 50% di umidità relativa, contiene circa 470 g di vapore. Due persone che abitano questa stanza per 4 ore producono 440 grammi di vapore che sommati a quelli esistenti danno 910 g ossia 16,85 g/m<sup>3</sup>; che alla temperatura di 20°C corrispondono a 14 g/Kg e ad una umidità del 90%.

Il vapore d'acqua comincerà a condensare sui vetri e sulle pareti creando nel tempo muffe, macchie sgradevoli sulle pareti e certamente sensazioni di malessere agli occupanti.

Una persona a riposo produce 22,5 lt/h di anidride carbonica. Un ambiente è considerato salubre quando la concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) non supera 1,5 lt/m<sup>3</sup>. Due persone che abitano la stessa stanza per 4 ore producono 176 lt di CO<sub>2</sub> pari a 3 lt/m<sup>3</sup> riferito alla nostra stanza. Se poi consideriamo che normalmente in una camera da letto due persone dormono in media 8 ore a notte, la concentrazione di CO<sub>2</sub> può arrivare a valori di 6-7 lt/m<sup>3</sup>, circa quattro volte il valore ritenuto ideale. Anche in questo caso abbiamo considerato come input solo l'anidride carbonica e non abbiamo tenuto conto degli inquinanti interni, prodotti chimici, lavastoviglie e lavatrici, etc.

<b>Quantità di CO<sub>2</sub> oraria emessa con la respirazione da parte dell'uomo in diverse situazioni</b>	
<b>Situazione</b>	<b>l/h CO<sub>2</sub></b>
Bambino a riposo	10
Adulto che dorme	18
Adulto a riposo	22.5
Adulto che svolge attività sedentaria	30
Adulto che svolge attività fisica pesante	40

### 4.3 Gli indici di comfort termico

#### Indici di comfort adattativo.

La vigente norma EN-ISO 7730 è basata su un modello che considera le persone all'interno degli ambienti come soggetti passivi di scambio termico e prescrive temperature ottimali pressoché costanti. Negli ultimi anni molti ricercatori hanno iniziato a mettere in dubbio la validità di questo tipo di impostazione ed hanno introdotto il concetto di "adattamento", che spiega come il contesto e la storia termica di ciascun soggetto possano modificare le aspettative e le preferenze termiche degli occupanti.

Alla base del modello di comfort adattativo c'è la convinzione che il soggetto, consciamente o inconsciamente, svolge un ruolo attivo nella creazione delle condizioni termiche che preferisce e che, per raggiungere più facilmente la soddisfazione nei confronti del microclima, attua un processo di adattamento, definito come processo di graduale diminuzione delle reazioni individuali agli stimoli ambientali. Si distinguono tre tipi di adattamento:

- adattamento comportamentale, dato dal complesso dei cambiamenti che una persona mette in atto, consciamente o inconsciamente, allo scopo di modificare i parametri che regolano il bilancio termico del corpo. Questo tipo di adattamento può essere ulteriormente suddiviso in personale (p.e. togliere un indumento), tecnologico (p.e. accendere il condizionatore d'aria) e culturale (p.e. fare una siesta al caldo),

- adattamento fisiologico, che consiste nel fatto che l'esposizione prolungata ad un certo tipo di ambiente o di clima riduce lo stress che può essere indotto da quella particolare situazione termica; può essere distinto in adattamento genetico (intergenerazionale) e acclimatazione (si compie gradualmente). È stato però dimostrato che nelle condizioni tipiche degli ambienti moderati questo tipo di adattamento ha un'influenza trascurabile sulla percezione del comfort,
- adattamento psicologico, legato al fatto che le esperienze pregresse e le aspettative modificano la percezione degli stimoli sensoriali e la reazione ad essi.