

*UNIVERSITA' SAPIENZA – FACOLTA' DI ARCHITETTURA L. QUARONI*  
*LABORATORIO DI PROGETTAZIONE 4D*  
*A.A. 2009/2010*

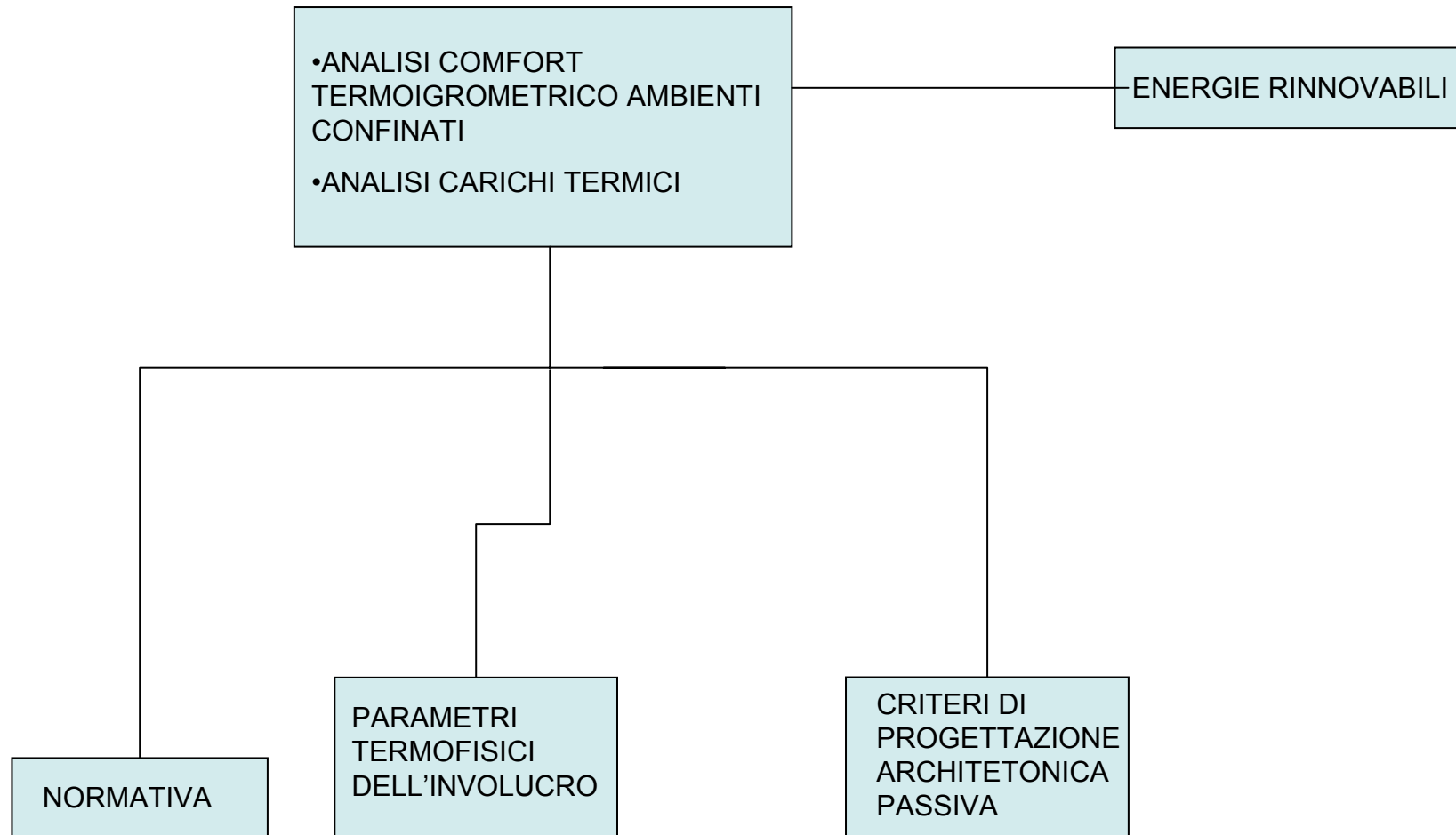
*COMFORT AMBIENTALE*

*E*

*BILANCIO TERMICO DELL'EDIFICIO (P1)*

***MODULO DI IMPIANTI***  
*Architetto C. Naticchioni*

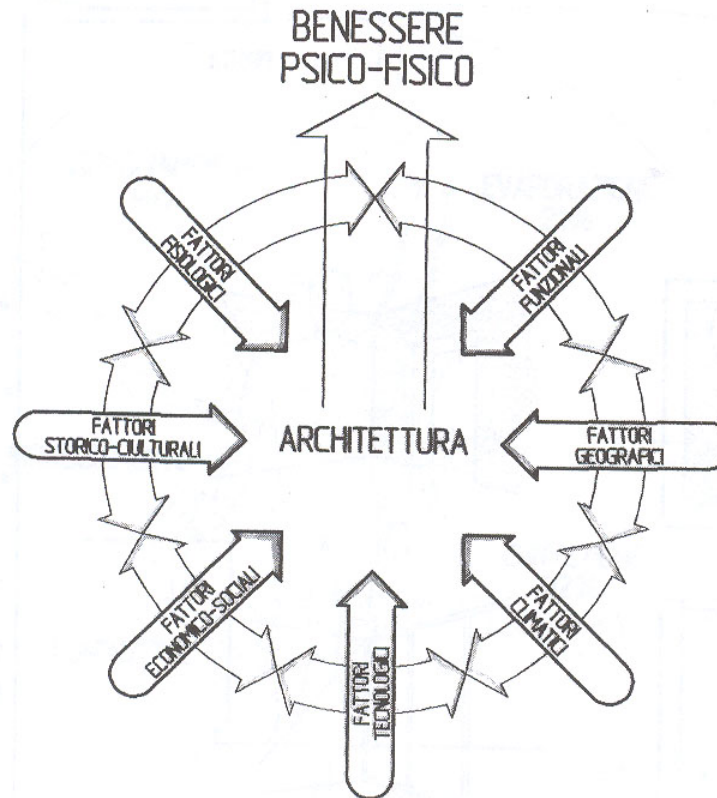
Strumenti per la progettazione di edifici che necessitano la minore quantità possibile di energia non rinnovabile





# COMFORT

- sensazione di benessere fisico e mentale
- condizione psicofisica in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda



Dalla definizione è evidente che il benessere è una quantità non misurabile analiticamente ma solo statisticamente perché dipende da troppe variabili di cui alcune strettamente soggettive e di natura psicologica.

Le variabili sono:

- il benessere termico e igrometrico;
- il benessere olfattivo (legato alla qualità dell'aria);
- il benessere visivo (relativo all'illuminazione);
- il benessere acustico;
- il benessere psicologico.

Queste contribuiscono e definire insieme il confort ambientale

## BENESSERE ACUSTICO



grado di protezione da tre tipologie di rumore: **aereo, impattivo, riverberante**

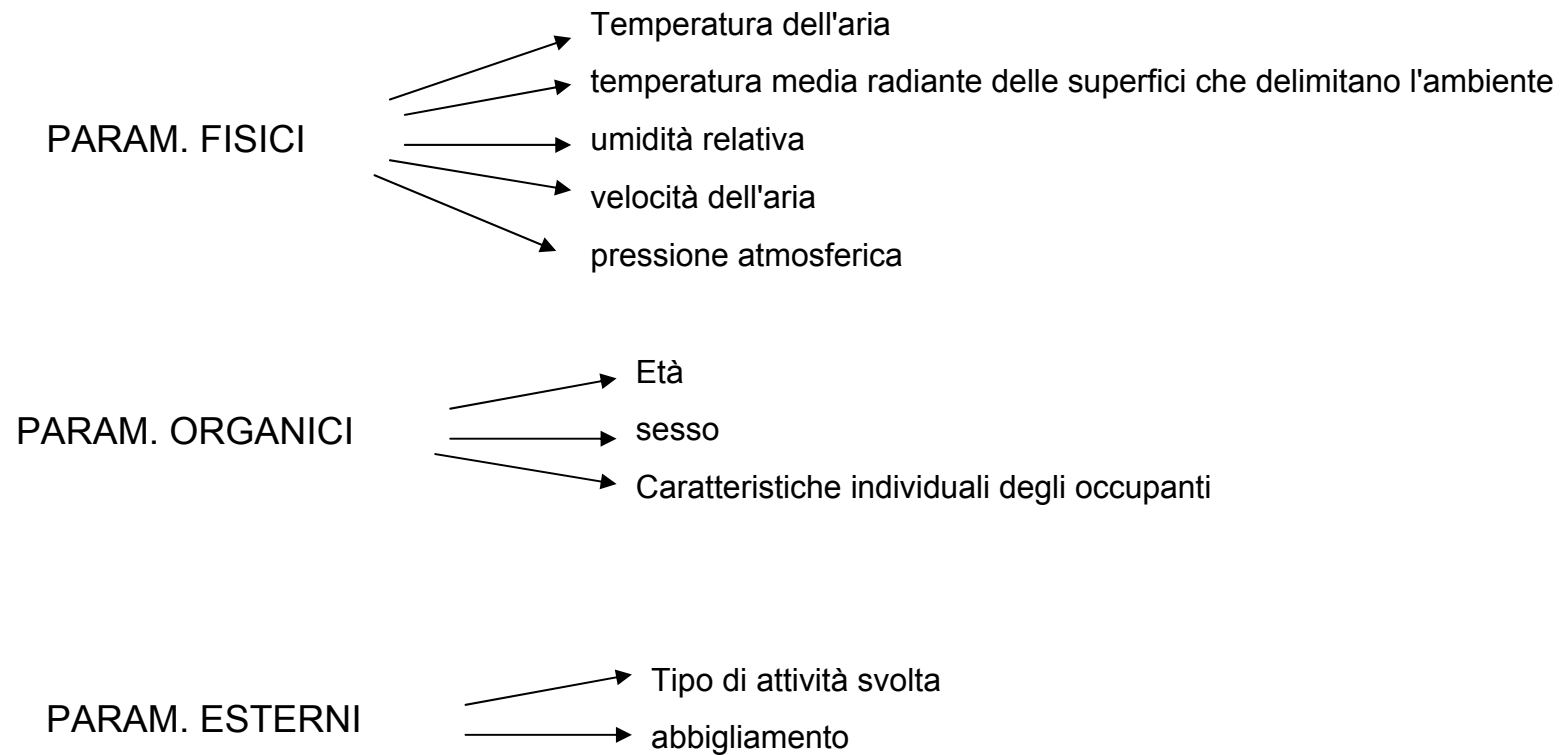
- **rumore aereo:** è quello che si propaga nell'aria contenuta dall'involucro ambiente (voci, musica da altoparlanti, passaggio di aerei, ecc.)

**rumore impattivo:** è quello che deriva da azioni meccaniche sull'involucro, tra cui il principale è il rumore di calpestio.

**rumore di riverberazione:** è quello che deriva dalla riflessione delle onde sonore all'interno dell'ambiente, dovuta ai materiali costituenti l'involucro in grado di 'amplificare' il rumore per riflessione.

La legislazione italiana (L. 447/1995 e DPCM 5-12-1997), prevede che il controllo della "resistenza" acustica, espressa in decibel, debba essere misurata nell'edificio realizzato.

## PARAMETRI CHE INFLUENZANO IL COMFORT TERMICO



# BILANCIO ENERGETICO DEL CORPO UMANO

- Lo studio delle condizioni di benessere termoigrometrico parte dall'analisi del metabolismo del corpo umano e dal bilancio energetico del sistema **Corpo umano-ambiente**
- Da un punto di vista energetico il corpo umano può essere considerato come una macchina termica che trasforma l'energia potenziale chimica degli alimenti in altre forme di energia e soprattutto in energia termica.
- POTENZA METABOLICA (M)= quantità di energia chimica trasformata in energia termica e lavoro nell'unità di tempo, espressa in watt
- La POTENZA METABOLICA è funzione dell'attività svolta ed è riferita all'unità di superficie corporea (W/mq) oppure misurata in "met"
- 1 met= 58,2 W/mq (tasso metabolico di una persona a riposo)

## Esempio di tasso metabolico per diverse attività

<b>Attività</b>	<b>Met</b>	<b>W/mq</b>
sonno	0,7	40
riposo	0,8	45
seduti	1,0	60
in piedi	1,2	70
attività sedentaria (ufficio, casa)	1,0-1,4	60-80
attività leggera (lavoro manuale leggero)	1,4-1,7	80-100
attività media (lavori domestici, lavoro medio)	1,7-2,0	100-117
attività intensa (lavoro pesante)	2,0-3,0	117-175
sport, danza	2,4-4,0	140-235



- Se l'uomo compie lavoro, il rapporto tra la *potenza meccanica* **W** e la *potenza metabolica* **M**, dà il *rendimento meccanico*  $\eta$ :

$$\eta = W/M$$

$$M - W = M (1 - \eta)$$

La differenza (M – W) rappresenta quella parte di carico metabolico che non si trasforma in lavoro meccanico e che deve ritrovarsi come scambio di energia termica con l'ambiente o come variazione di energia interna S.

In funzione delle condizioni ambientali e dell'attività svolta, il calore prodotto dai processi metabolici viene scambiato con l'ambiente esterno per:

- Irraggiamento R
- Convezione C
- Conduzione C<sub>k</sub>
- Evaporazione cutanea E
- Respirazione C<sub>resp</sub>

$$S = (M - W) \pm C_k \pm R \pm C - C_{resp} - E = 0$$

S = saldo di energia termica

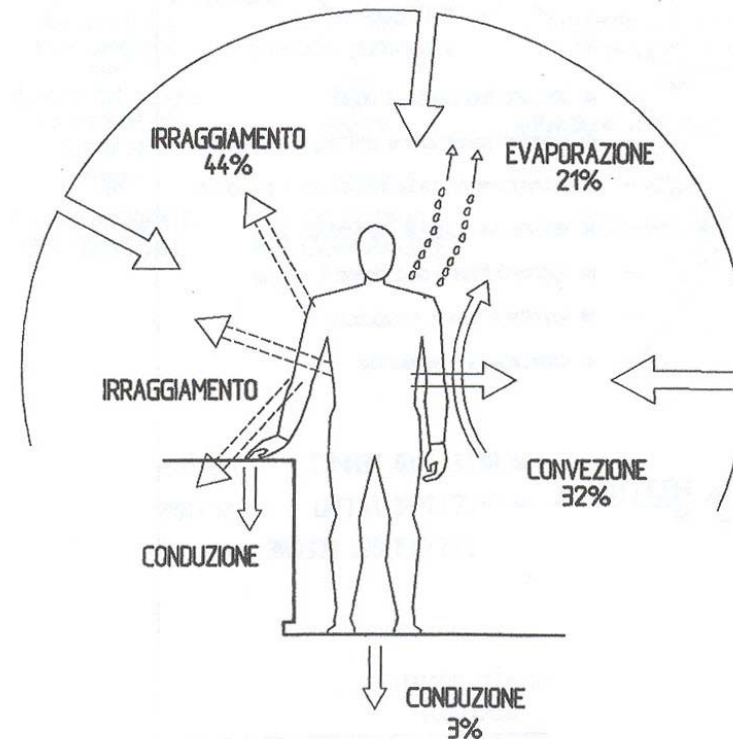
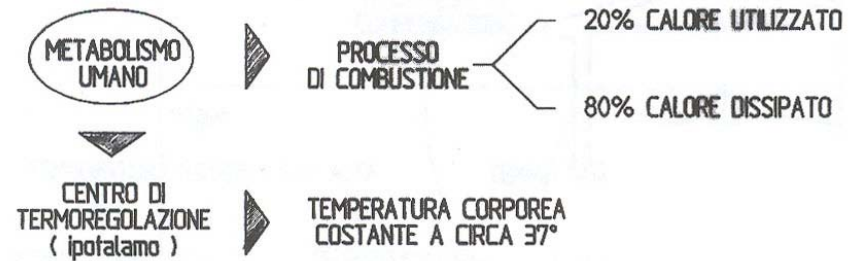
$$S = (M - W) \pm C_k \pm R \pm C - C_{resp} - E = 0$$

S = saldo di energia termica

In particolare nel caso di un soggetto intento in attività sedentarie all'interno di un locale climatizzato, nel periodo invernale, si hanno le seguenti dispersioni di calore:

- irraggiamento: 40 %;
- convezione: 25-30 %;
- evaporazione: 20-25 %;
- conduzione: trascurabile

## LO SCAMBIO TERMICO FRA UOMO E AMBIENTE



In un sistema costituito dal corpo umano e l'ambiente circostante, ho un **bilancio energetico** quando l'energia prodotta dal metabolismo è uguale all'energia scambiata con l'ambiente, in modo che non ci siano variazioni dell'energia interna.

**- considerazioni:**

-L'organismo reagisce agli stimoli termici con un sistema di termoregolazione capace di mantenere costante la temperatura corporea ( $S = 0$ )

-La condizione di OMEOTERMIA ( $S = 0$ ) assicura l'equilibrio termico necessario per la salute dell'organismo, ma non significa automaticamente condizione di benessere

-omeotermia = condizione necessaria ma non sufficiente per il benessere termico

$S < 0$  —————> la temp del corpo tende a decrescere

$S > 0$  —————> la temp del corpo tende ad aumentare

- Le grandezze fisiologiche che rappresentano meglio il livello di sensazione termica nel soggetto, sono:

- la temperatura della pelle (  $T_{sk}$  )
- la quantità di calore scambiata per sudorazione ( $E_w$ )

Per avere il benessere, la temperatura della pelle (  $T_{sk}$  ) e la sudorazione devono assumere valori che diano la sensazione di neutralità termica

Fanger, attraverso indagini statistiche sperimentali, trova i valori ottimali di  $T_{sk}$  e  $E_w$  in funzione del metabolismo, che inseriti nell'equazione del bilancio energetico del sistema uomo-ambiente danno l'equazione del benessere.

$$\bullet \quad T_{sk0} = 35,7 - 0,0275 M \quad [C^\circ] ; \quad E_{w0} = 0,42 ( M - 58) \quad [W/ m^2]$$

Dall'equazione del bilancio energetico e poi da quella del benessere, risultano quattro parametri ambientali che regolano gli scambi termici con l'ambiente:

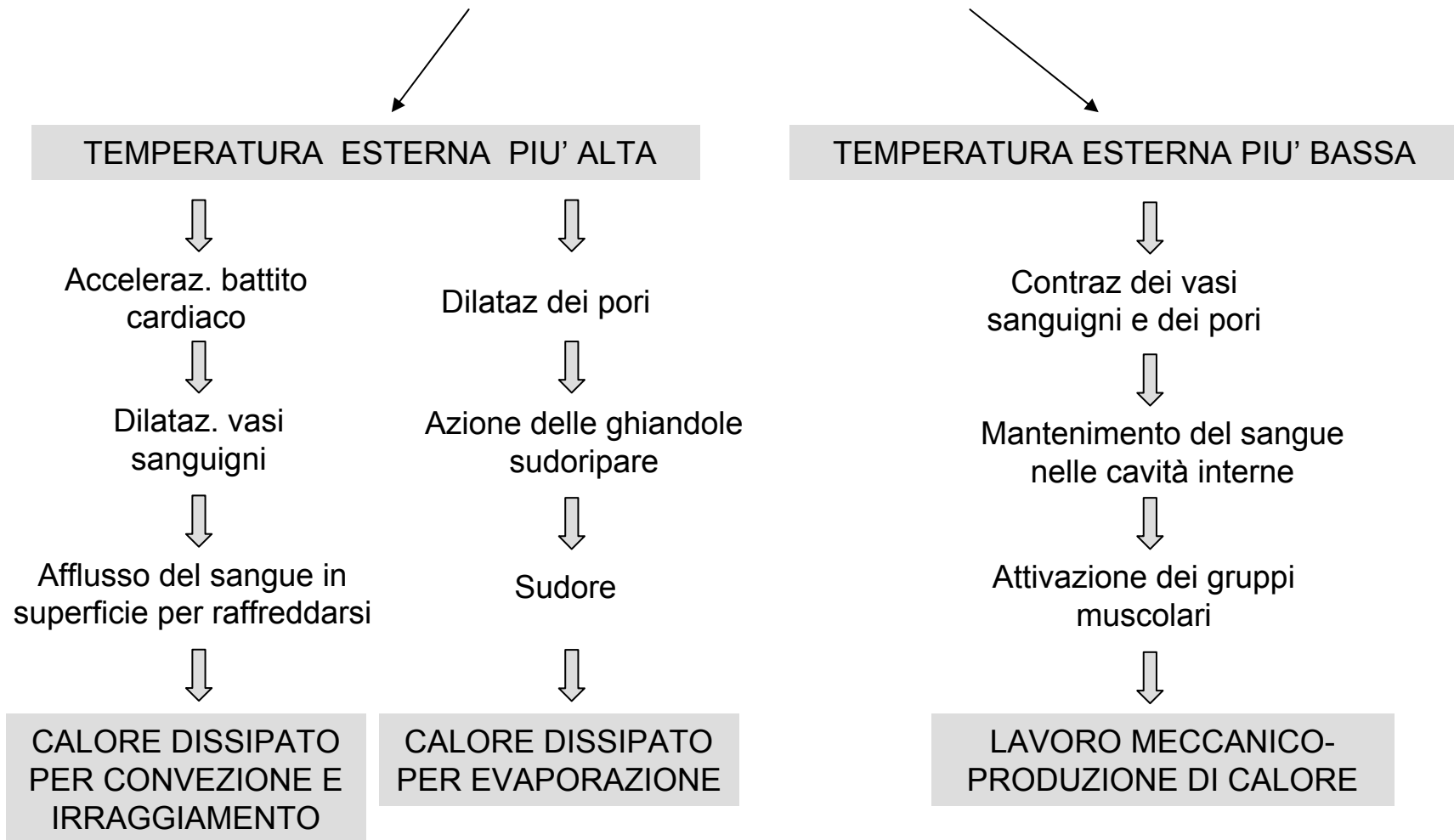
- temperatura dell'aria dell'ambiente,  $T_a$ , che regola gli scambi per convezione;
- temperatura media radiante,  $T_{mr}$ , che regola gli scambi termici per irraggiamento;
- velocità relativa dell'aria rispetto al soggetto,  $V_a$ , che regola lo scambio di calore per convezione;
- umidità relativa dell'aria,  $\phi_a$ , che influenza l'evaporazione dell'acqua dal corpo per traspirazione e sudorazione.

## Sensazioni percepite in funzione della temperatura e dell'umidità relativa

(Simonetti, in AA.VV., 1993).

Temperatura	Umidità Relativa	Sensazioni provate
24 °C	40 %	benessere massimo
	85 %	benessere a riposo
	91 %	affaticamento, depressione
32 °C	25 %	nessun malessere
	50 %	impossibile il lavoro continuo
	65 %	impossibile il lavoro pesante
	81 %	aumento della temperatura corporea
	90 %	forte malessere
36 °C	10 %	nessun malessere
	20 %	impossibile il lavoro pesante
	65 %	necessità di riposo
	80 %	malessere

## MECCANISMI DI COMPENSAZIONE





- **Si verifica una condizione di benessere termoigrometrico** in un ambiente chiuso **quando**, data una certa attività M e una certa resistenza termica del vestiario Icl, le quattro variabili (**Ta, Tmr, Va, φa**) **soddisfano l'equazione del benessere.**

$$M ( 1 - \eta ) - E - C_{resp} = R + C = \frac{A_b (T_{sk} - T_{cl})}{r}$$

- r = resistenza termica degli abiti
- Tcl = temperatura esterna dei vestiti
- Ab = area del corpo

## Isolamento termico fornito da diverse combinazioni di abbigliamento

Abbigliamento	Resistenza termica	
	mq K/W	Clo
nudi	0	0
pantaloncini	0,015	0,1
tenuta estiva leggera	0,08	0,5
tenuta da lavoro leggera	0,11	0,7
tenuta invernale tipica da interno	0,16	1,0
tenuta da affari tipica europea	0,23	1,5

L'isolamento termico del vestiario è espresso in "Clo" (1 Clo = 0,155 mq K/W).

## CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE DI BENESSERE

	estate	inverno
Temperatura dell'aria	26 °C	20 °C
Umidità relativa	30 % < U < 60%	30 % < U < 50 %
Velocità dell'aria	0,1-0,2 m/s	0,05-0,1 m/s

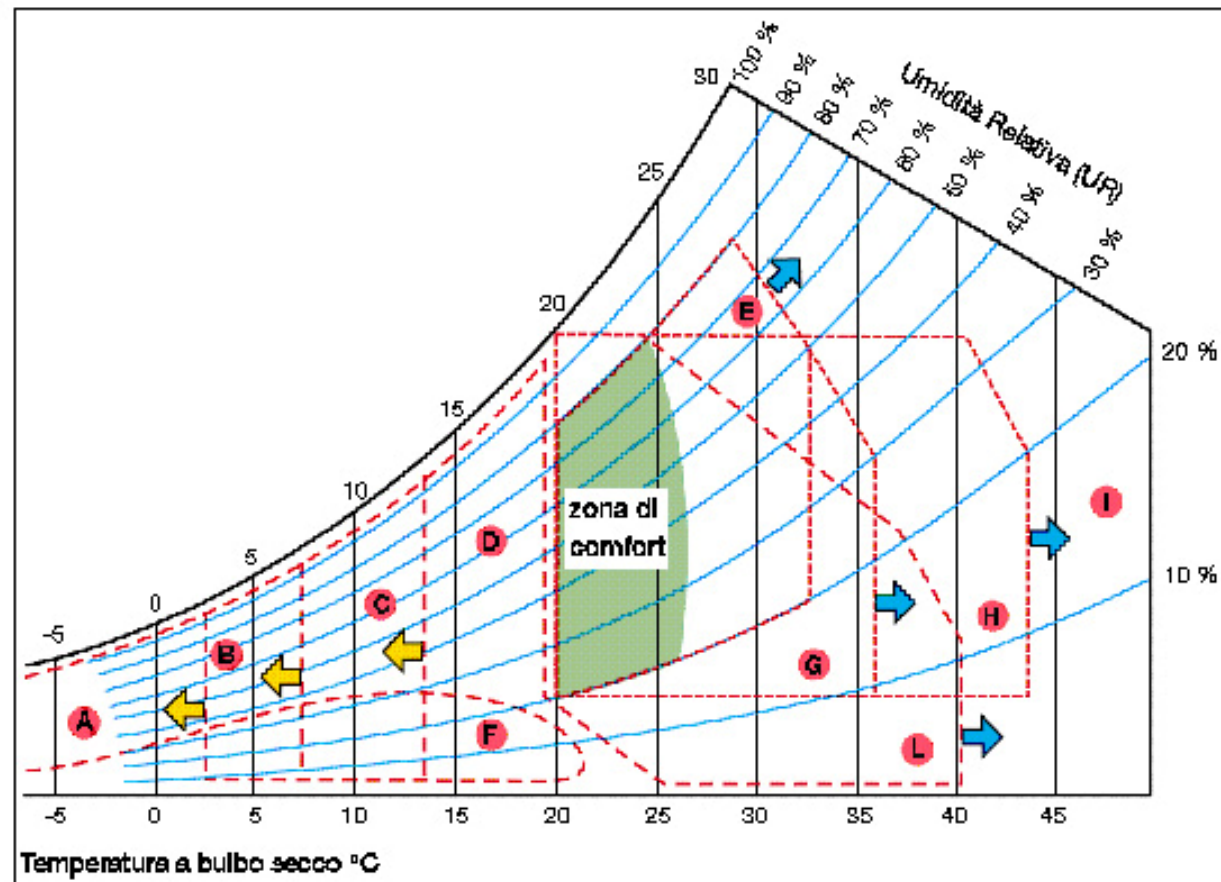
**Limiti medi per condizioni igrotermiche considerate ottimali (Melino C. 1992)**

	Temperatura	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

**Valori consigliati per temperatura, UR e velocità dell'aria a seconda della stagione (Simonetti, in AA. VV.,1993).**

## IL DIAGRAMMA BIOCLIMATICO DI GIVONI

definisce, per il tipo di attività svolta e per il relativo abbigliamento adottato, il perimetro della zona di benessere termico inteso come il luogo dei fattori climatici ambientali entro il quale la sensazione termica è giudicata confortevole da oltre l' 80% delle persone.

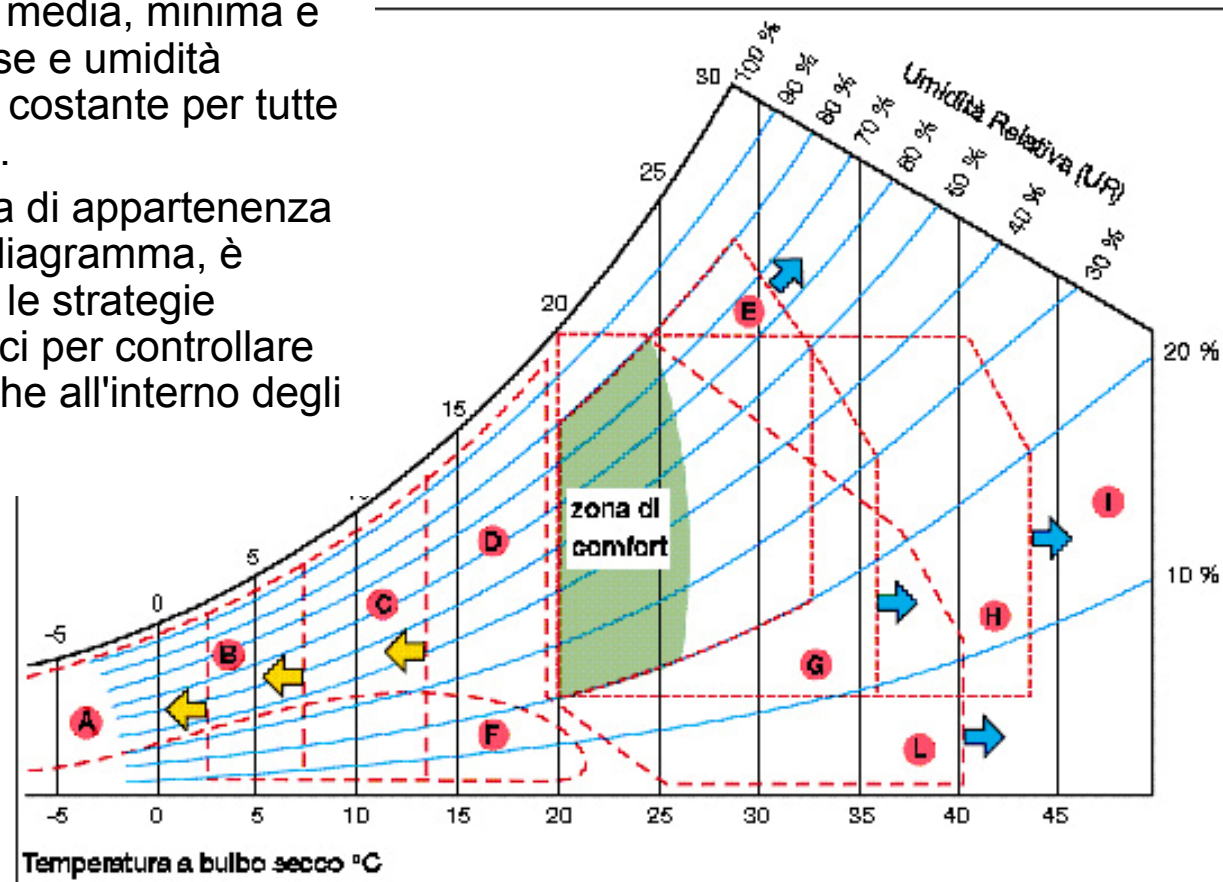


## IL DIAGRAMMA BIOCLIMATICO DI GIVONI

Evidenza le strategie da attuare per estendere l'area di comfort.

Per l'utilizzo di questo diagramma, vi si riportano i dati climatici della località in esame: temperatura media, minima e massima di ogni mese e umidità relativa (considerata costante per tutte e tre le temperature).

In relazione alla zona di appartenenza dei dati riportati sul diagramma, è possibile individuare le strategie maggiormente efficaci per controllare le condizioni climatiche all'interno degli ambienti.



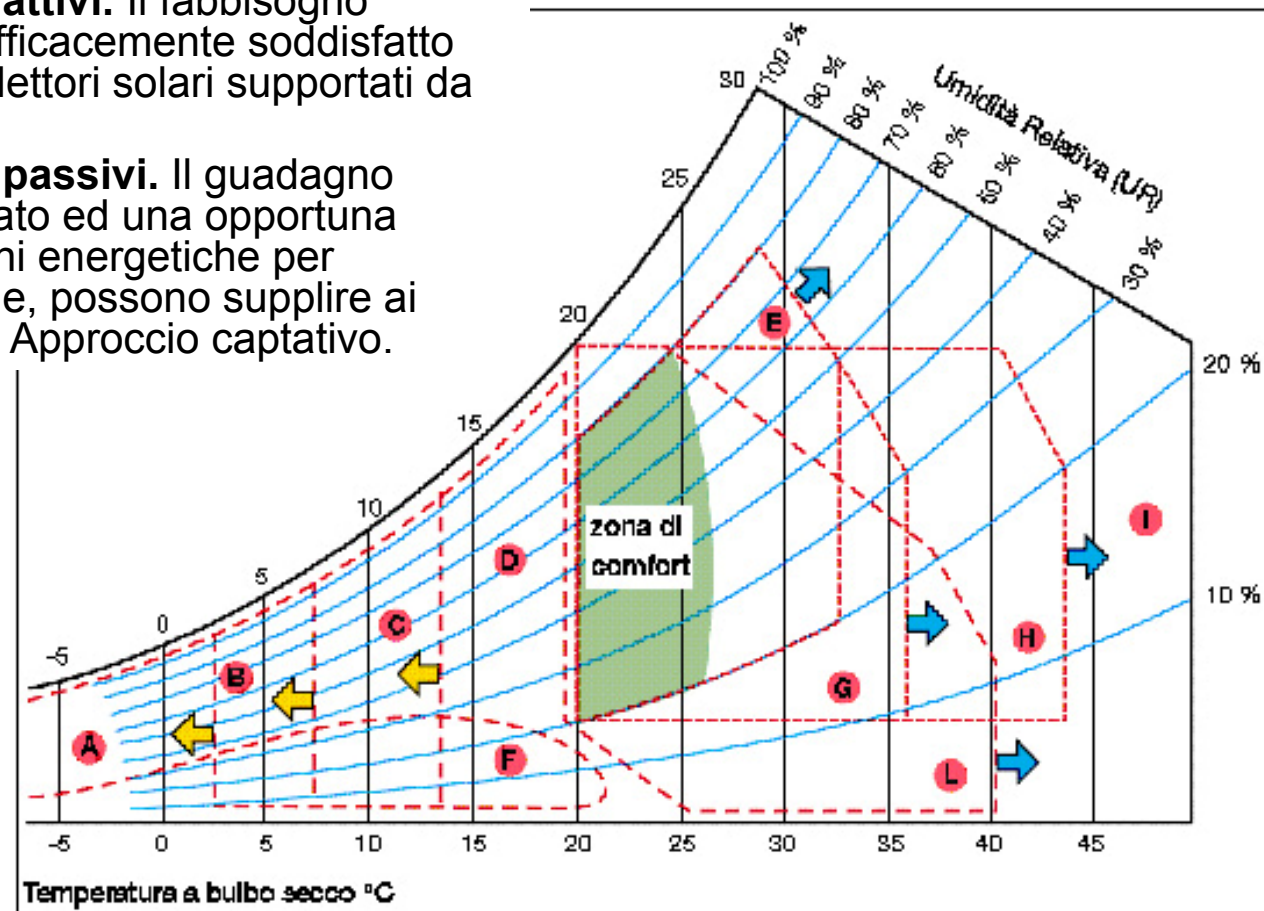
Strategie:

•**zona di comfort:** non è necessario alcun intervento salvo la protezione dal sole diretto in estate e l'isolamento termico in inverno;

•**zona A: riscaldamento convenzionale.** zona molto fredda in cui è indispensabile utilizzare un sistema di riscaldamento a combustibili.

•**zona B: sistemi solari attivi.** Il fabbisogno energetico può essere efficacemente soddisfatto attraverso l'utilizzo di collettori solari supportati da un impianto ausiliario.

•**zona C: sistemi solari passivi.** Il guadagno diretto, indiretto, combinato ed una opportuna attenzione alle dispersioni energetiche per ventilazione e conduzione, possono supplire ai disperdimenti energetici. Approccio captativo.

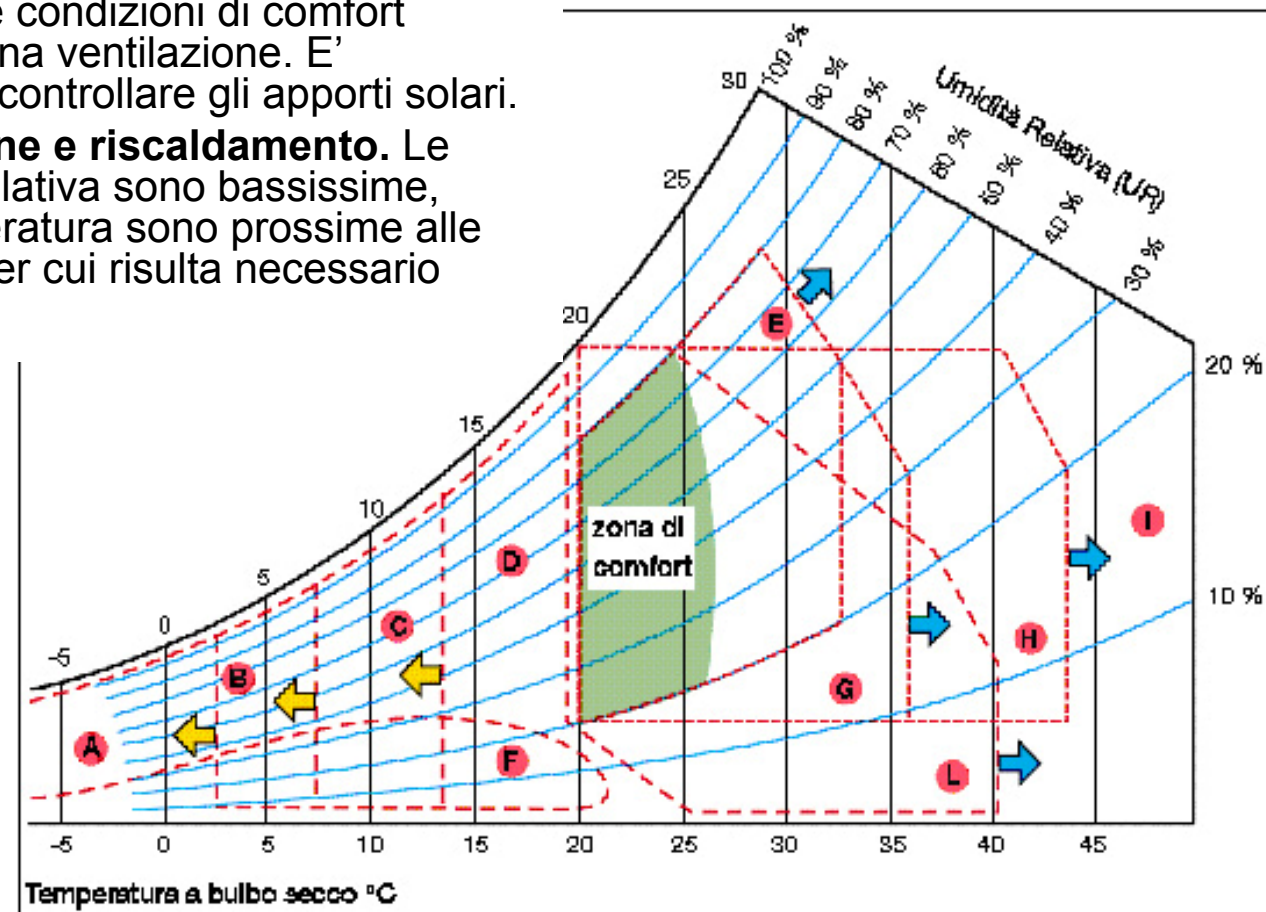




•**zona D: guadagni interni.** Le condizioni climatiche sono vicine a quelle di comfort per cui, se l'edificio è correttamente coibentato, sono sufficienti i guadagni interni per supplire alle dispersioni energetiche.

•**zona E: ventilazione.** Le condizioni di temperatura e di umidità relativa sono elevate, per cui è possibile ottenere condizioni di comfort attraverso una opportuna ventilazione. E' comunque necessario controllare gli apporti solari.

•**zona F: umidificazione e riscaldamento.** Le condizioni di umidità relativa sono bassissime, mentre quelle di temperatura sono prossime alle condizioni di comfort per cui risulta necessario umidificare l'aria.

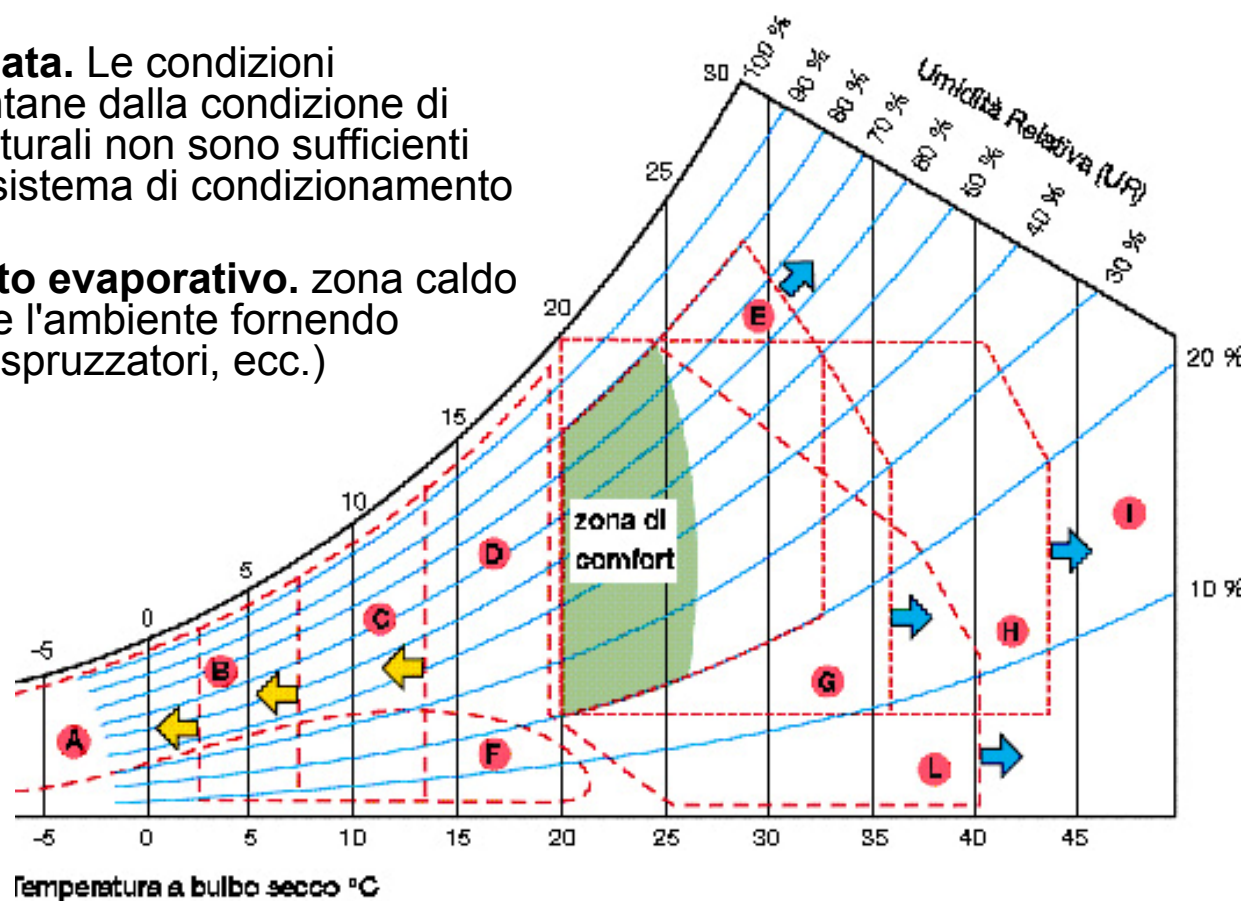


•**zona G: massa termica.** zona dal clima caldo secco, in cui si possono sfruttare efficacemente l'inerzia termica dell'edificio ed altri sistemi passivi quali il raffreddamento radiativo.

•**zona H: massa termica e ventilazione.** zona dal clima mite, in cui è necessaria una adeguata massa che smorzi l'onda termica incidente, accompagnata da una ventilazione notturna per raffrescare l'edificio.

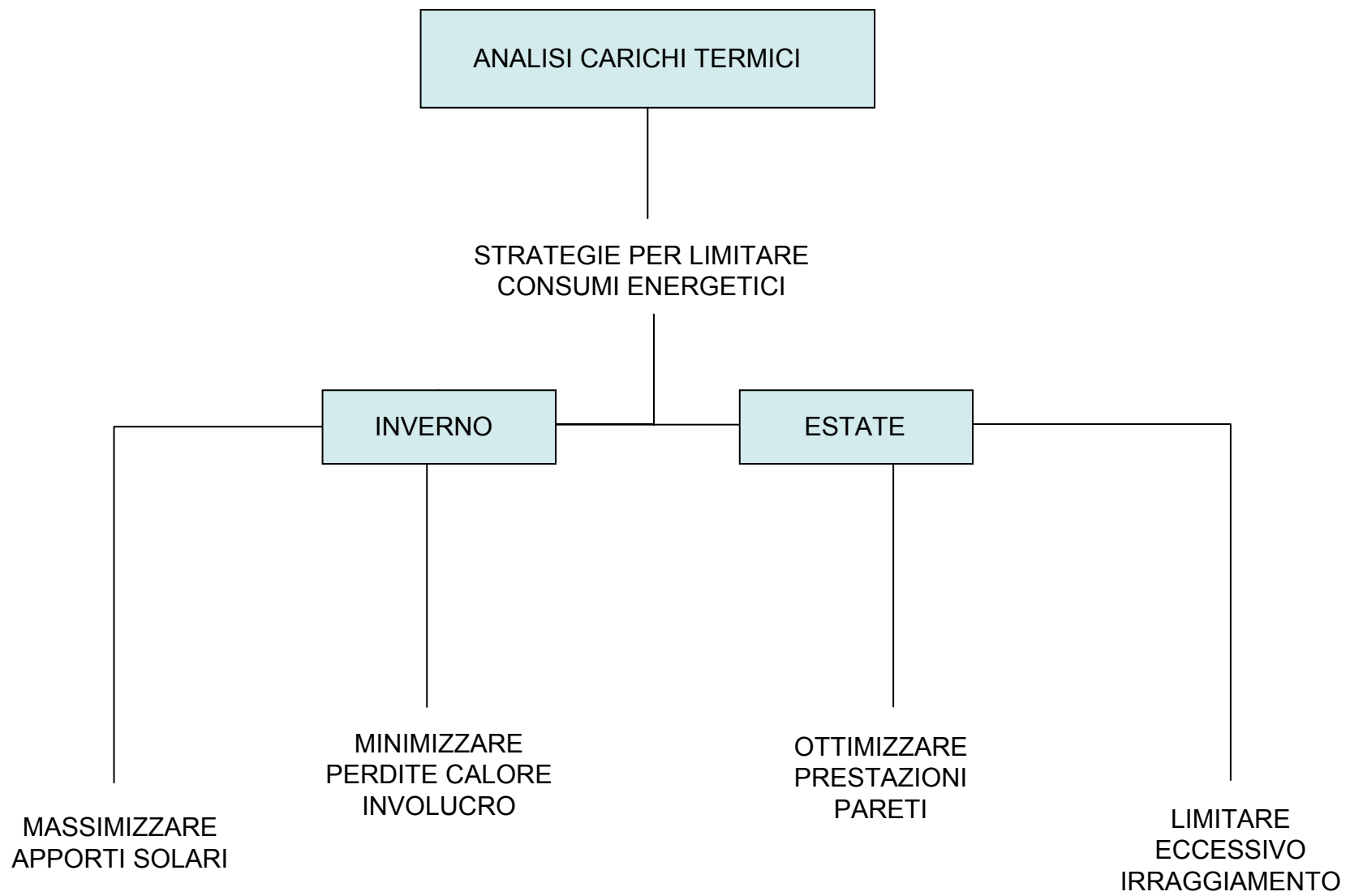
•**zona I: aria condizionata.** Le condizioni climatiche sono così lontane dalla condizione di comfort che i sistemi naturali non sono sufficienti ed è indispensabile un sistema di condizionamento meccanico.

•**zona L: raffrescamento evaporativo.** zona caldo secca, si può rinfrescare l'ambiente fornendo umidità (fontane, micro-spruzzatori, ecc.)



## BILANCIO TERMICO DELL'EDIFICIO

- La potenza termica totale che un impianto di climatizzazione deve fornire o sottrarre ad un edificio per garantire al suo interno condizioni di comfort, prende il nome di carico termico.
- È importante analizzare le condizioni che portano alla determinazione dei carichi termici, per capire come e dove intervenire durante la **fase di progettazione dell'edificio**, in modo che questo necessiti della minore potenza termica possibile.
- Nella definizione dei carichi termici invernali ed estivi, oltre alle peculiarità del luogo, assume una importanza fondamentale l'involucro dell'edificio con le sue caratteristiche.

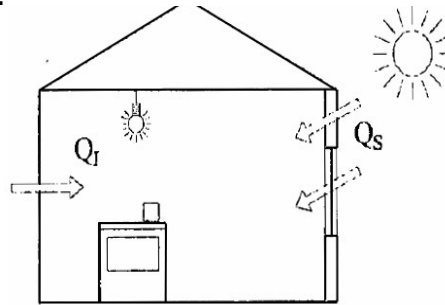


## ANALISI DEI CARICHI TERMICI

- Nell'analisi energetica dell'edificio, è fondamentale determinare la quantità di calore entrante o uscente dall'involucro, come anche la quantità di vapore prodotta.
- Nel **periodo estivo**, i carichi termici sono essenzialmente dovuti a:
  - quantità di calore per unità di tempo entrante per trasmissione attraverso le pareti.
  - quantità di calore per unità di tempo entrante per trasmissione e irraggiamento attraverso le superfici vetrate.
  - quantità di calore sensibile per unità di tempo prodotta dalle persone presenti, dipendente dall'attività svolta
  - quantità di calore per unità di tempo dovuta all' impianto di illuminazione
  - quantità di calore per unità di tempo prodotta da eventuali sorgenti interne
  - quantità di calore latente prodotto dalle persone o da altre sorgenti
- Nel **periodo invernale**, i carichi termici si riducono a quelli dovuti alla trasmissione attraverso le pareti opache e quelle vetrate, e alle dispersioni dovute ai ricambi d'aria. Tutti gli altri carichi possono essere considerati degli apporti gratuiti poiché contribuiscono al riscaldamento degli ambienti.

## SITUAZIONE INVERNALE

### GUADAGNI DI ENERGIA



$$Q_{GR} = Q_s + Q_i$$

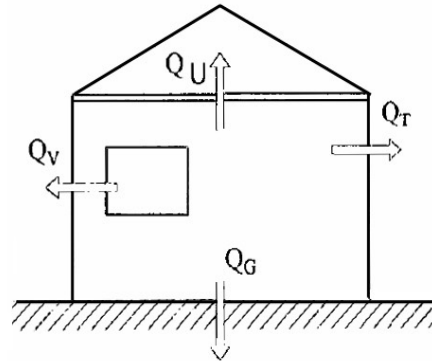
dove:

$Q_{GR}$  = Guadagni globali di energia

$Q_s$  = Apporti solari

$Q_i$  = Apporti interni

### PERDITE DI ENERGIA



$$Q_L = (Q_T + Q_G + Q_U) + Q_V + Q_A$$

dove:

$Q_L$  = Perdite complessive

$Q_T$  = Perdite per trasmissione verso l'esterno

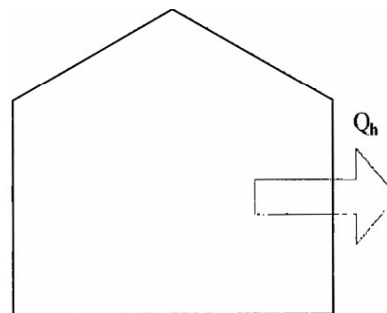
$Q_G$  = Perdite per trasmissione verso il terreno

$Q_U$  = Perdite per trasmissione verso locali non riscaldati

$Q_V$  = Perdite per ventilazione

$Q_A$  = Perdite per trasmissione e ventilazione con zone a temperatura prefissata

### BILANCIO ENERGETICO



$$Q_{h \text{ mensile}} = (Q_L - \eta Q_{GR})$$

dove:

$Q_{h \text{ mensile}}$  = Fabbisogno energia utile mensile

$Q_h$  = somma di  $Q_{h \text{ mensile}}$

$\eta$  = fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti

$Q_h$  = fabbisogno di energia utile dell'edificio per riscaldamento invernale



## SITUAZIONE INVERNALE

$$Q_{\text{uscente}} = \underbrace{\sum_{i=1}^n K_i S_i \Delta T_i}_{\text{Elementi Disperdenti}} + \underbrace{\sum_j \psi_j l_j \Delta T_j}_{\text{Ponti Termici}} + \underbrace{\sum_k n_k V_k c_{pa} (t_{i,k} - t_e)}_{\text{Ventilazione Ambienti}}$$

$K_i$  : Trasmittanza termica della generica parete;

$S_i$  : Superficie disperdente della generica parete;

$\Delta T_i$  : Differenza di temperatura per la generica parete;

$\psi_j$  : Fattore lineare per il generico ponte termico;

$l_j$  : Lunghezza del generico ponte termico;

$\Delta T_j$  : Differenza di temperatura per il generico ponte termico;

$n_k$  : Numero di ricambi orari del generico ambiente;

$V_k$  : Volume interno del generico ambiente;

$t_{j,k}$  : Temperatura interna del generico ambiente;

$t_e$  : Temperatura esterna di progetto;

$c_{pa}$  : Calore specifico a pressione costante dell'aria.

## SITUAZIONE ESTIVA

### Calore sensibile

$$Q_s = \sum_{\text{Pareti opache}} K_i S_i \Delta T_{e,i} + \sum_{\text{Pareti Vetrata}} K_{v,i} S_{v,i} (T_i - T_e) + \sum_{\text{Pareti Vetrata}} S_{v,i} I_{v,i} f_{a,i} f_{s,i} + \\ + \sum_{\text{Ventilazione Ambienti}} n_i V_i \rho c_p (T_e - T_i) + \sum_{\text{Fessure}} f_j L_j \rho c_p (T_e - T_i) + \sum_{\text{Sorgenti Interne}} W_i$$

- $K_i$  = trasmittanza della i-ma parete, [W/m<sup>2</sup>K];
- $S_i$  = superficie della i-ma parete, [m<sup>2</sup>];
- $\Delta T_{e,i}$  = differenza di temperatura equivalente per la i-ma parete, [°C];
- $T_i$  = temperatura interna del generico ambiente, [°C];
- $I_{v,i}$  = radiazione solare massima giornaliera sulla generica superficie vetrata, (W/m<sup>2</sup>);
- $T_e$  = temperatura oraria esterna, [°C];
- $S_{v,i}$  = superficie della finestra i-ma, [m<sup>2</sup>];
- $K_{v,i}$  = trasmittanza della i-ma vetrata, [W/m<sup>2</sup>K];
- $f_{a,i}$  = fattore di accumulo termico per la i-ma finestra;
- $f_{s,i}$  = fattore di schermatura della i-ma finestra;
- $n_i$  = numero di ricambi orari del generico ambiente;
- $V_i$  = volume interno del generico ambiente, [m<sup>3</sup>];
- $W_i$  = sorgente interna di calore, [W];

## SITUAZIONE ESTIVA

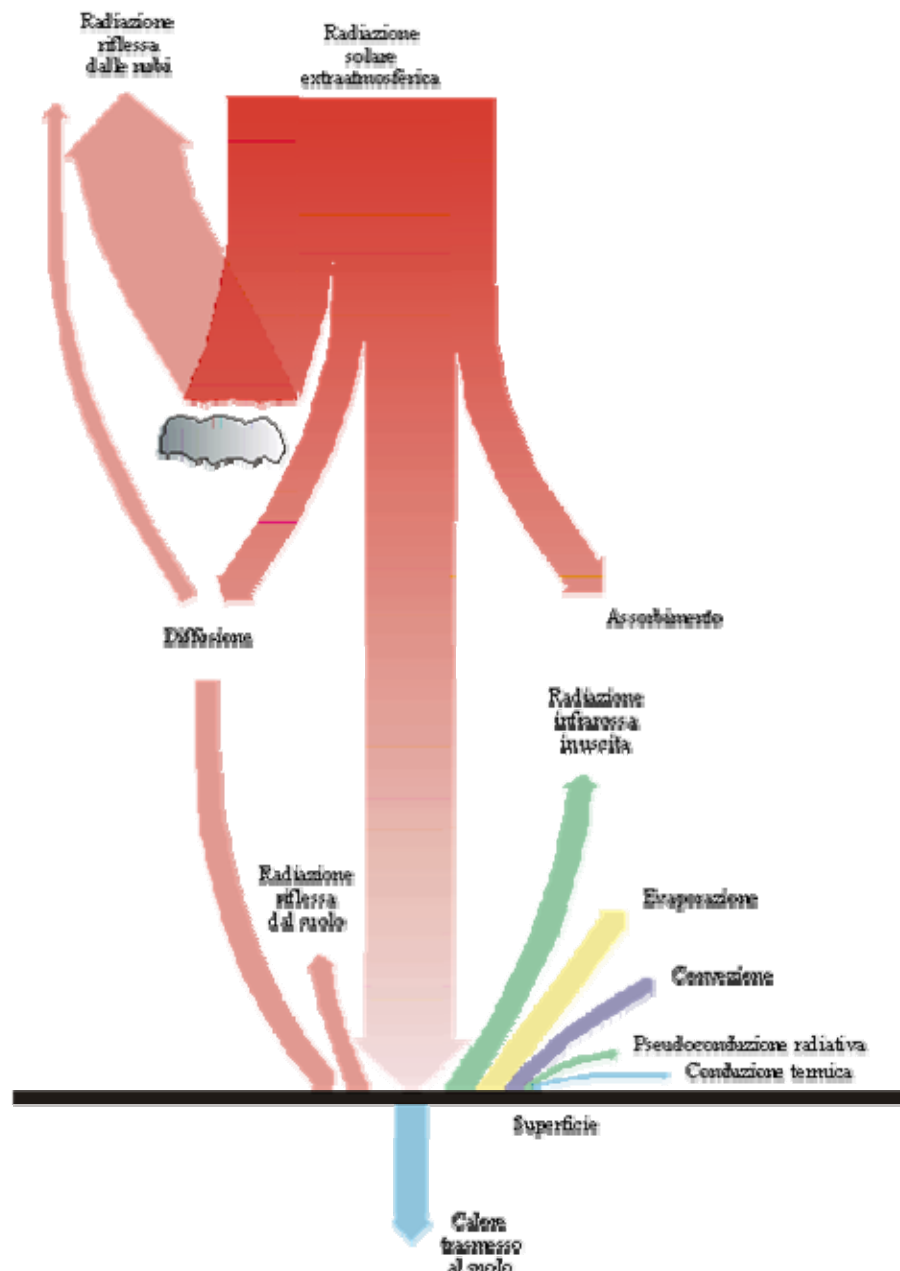
### Calore latente

$$Q_L = \sum_{\text{Sorgenti Interne}} Q_{l,i} + \sum_{\text{Ambienti}} n_i V_i \rho (x_e - x_i) r$$

- $Q_{l,i}$  = sorgente interna di calore latente, [W];
- $n_i$  = numero di ricambi orari del generico ambiente;
- $V_i$  = volume interno del generico ambiente, [m<sup>3</sup>];
- $x_e$  = umidità specifica esterna, [g/kgas];
- $x_i$  = umidità specifica interna del generico ambiente, [g/kgas];
- $r$  = calore latente di vaporizzazione dell'acqua.

## Radiazione solare

- Per radiazione solare s'intende il flusso di energia emesso dal sole e assorbito dalla crosta terrestre.
- La radiazione solare attraversando gli strati atmosferici subisce diversi effetti, una parte viene riflessa verso lo spazio, una parte viene diffusa in tutte le direzioni, una parte viene assorbita e infine una parte denominata radiazione solare diretta, raggiunge direttamente la superficie terrestre.

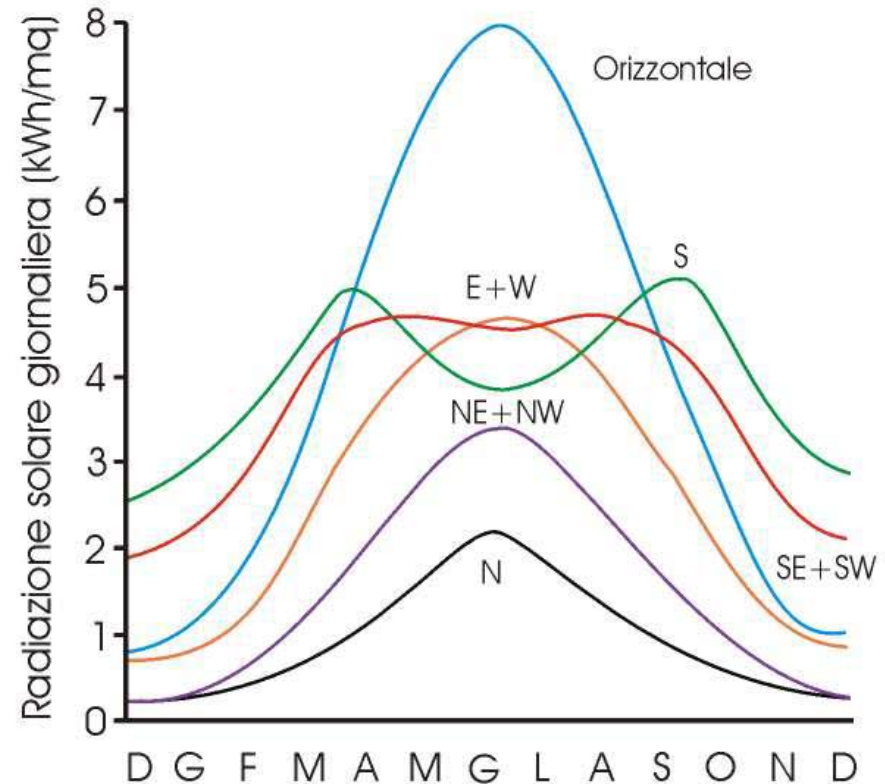


- **Ottimizzazione della Captazione dell'energia solare**

- . E' importante massimizzare l'accesso della radiazione solare nell'edificio durante la stagione del riscaldamento, ottimizzando l'utilizzo del sito per evitare un'eccessiva azione di schermo da parte degli edifici vicini o degli alberi.
- . Scegliere un orientamento favorevole
- . E' pure necessario tener conto del microclima, sfruttando piantagioni, la morfologia del suolo ecc., per proteggere l'edificio dal clima e quindi ridurre le dispersioni di calore. La forma stessa dell'edificio è utilizzata per esaltare questi effetti.
- . l'edificio diventa un enorme collettore "abitato", con finestre o superfici vetrate relativamente grandi e rivolte a sud, sud-est e sud-ovest.
- . Il guadagno solare ottenuto applicando dei sistemi solari passivi è la differenza tra la quantità di energia solare utile che entra nell'edificio e le dispersioni di calore dello stesso.

# APPORTI SOLARI

- Un metro quadrato di superficie terrestre riceve in media circa 4 kWh al giorno, ossia 1460 kWh all'anno.
- Gli apporti energetici solari non arrivano in forma concentrata e non sono costanti. Essi variano nel corso del giorno, da stagione a stagione, e dipendono dalla posizione del sole, dalla purezza dell'aria, dalla nuvolosità, dall'orientamento della superficie captante, dalla presenza di eventuali ostruzioni e dalla riflettanza delle superfici.
- Un esempio: in Sicilia, lungo il litorale sud, gli apporti medi giornalieri passano da 2,0 kWh/m<sup>2</sup> in dicembre a 7,2 kWh/m<sup>2</sup> in luglio, per una media annuale di 4,7 kWh/m<sup>2</sup>.
- Su una superficie orizzontale, la quantità maggiore incide in estate, quando i giorni sono più lunghi e il sole è più alto; molto diversa è invece la situazione di una superficie verticale, esposta a Sud, che riceve molta più radiazione in inverno che in estate.



## PARETI VERTICALI

- Alle nostre latitudini il percorso del sole è molto più corto e basso in inverno che in estate, di conseguenza gli apporti termici sulle pareti saranno diversi a seconda dalla stagione.
- In inverno le superfici verticali orientate a Nord non sono esposte ad una radiazione solare diretta, l'apporto termico giornaliero è nullo.
- Le superfici verticali orientate a sud, in inverno ricevono un apporto termico giornaliero del 93% rispetto al valore max del 100% di una superficie inclinata a  $75^\circ$ .  
In estate l'apporto termico giornaliero su superfici verticali è molto minore rispetto al valore max che si ha su una superficie orizzontale

FIG. 1 : PARETI VERTICALI ORIENTATE A NORD

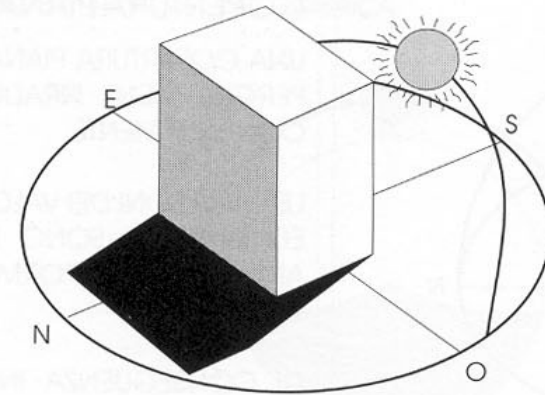
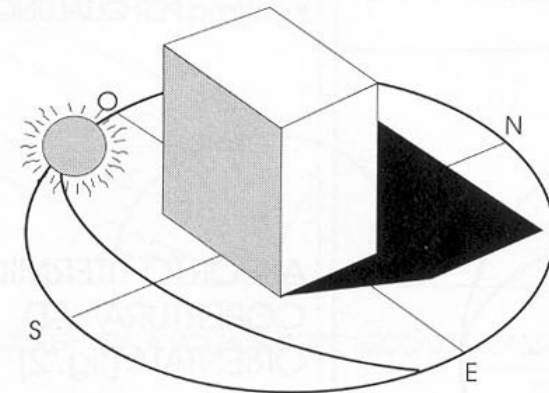


FIG. 2 : PARETI VERTICALI ORIENTATE A SUD



- Le superfici verticali orientate a Est-Ovest sono irradiate direttamente dai raggi solari sia in estate che in inverno.
- Le pareti verticali orientate a sud-est sud-ovest sono alternativamente illuminate dal sole, quelle a sud-est dall'alba fino alle 12:00, e quelle a sud-ovest dalle 12:00 fino al tramonto.
- Le superfici verticali orientate a nord-est nord-ovest in inverno ricevono un apporto solare minimo rispetto alla stagione estiva.

FIG. 3 : PARETI VERTICALI ORIENTATE A EST - OVEST

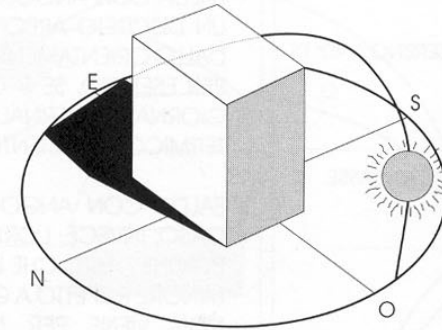


FIG. 4 : PARETI VERTICALI ORIENTATE A SUD EST - SUD OVEST

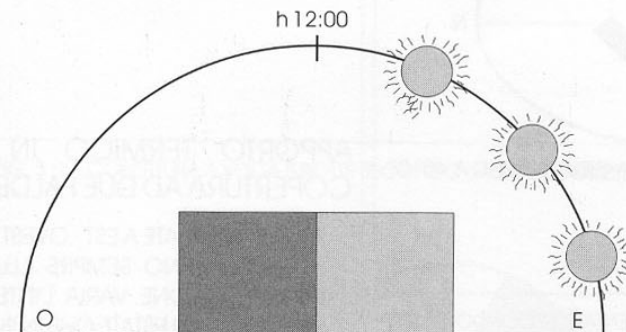
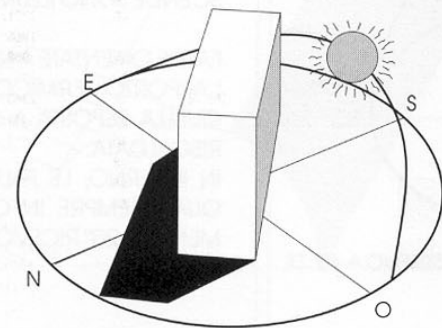


FIG. 5 : PARETI VERTICALI ORIENTATE A NORD EST - NORD OVEST





## COPERTURE

Una copertura piana subisce un'illuminazione totale perché viene irradiata dal sole completamente e continuamente.

Le variazioni dei valori di apporto termico fra estate e inverno sono dovute unicamente al diverso angolo che si forma tra i raggi incidenti e il piano orizzontale, prossimo ai  $90^\circ$  in estate.

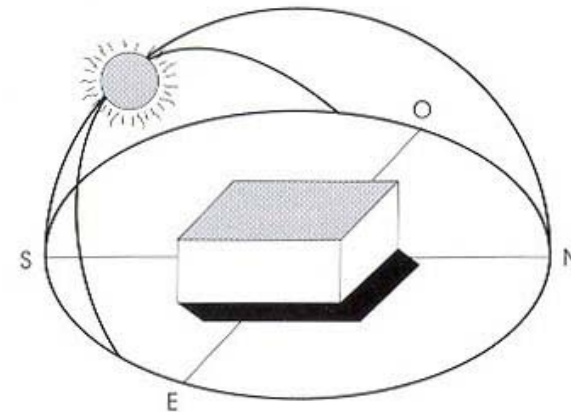
Nel caso di una copertura ad una falda inclinata, sono possibili due situazioni:

- falda con angolo minore di  $20^\circ$ : riceve sempre un discreto apporto termico, indipendente dall'orientamento e in tutte le stagioni
- Falda con angolo maggiore di  $20^\circ$ :

L'orientamento a nord in questo caso è inefficace, poiché visto che l'inclinazione dei raggi solari è minore rispetto a quella della falda, la copertura non viene irraggiata e l'apporto termico è nullo.

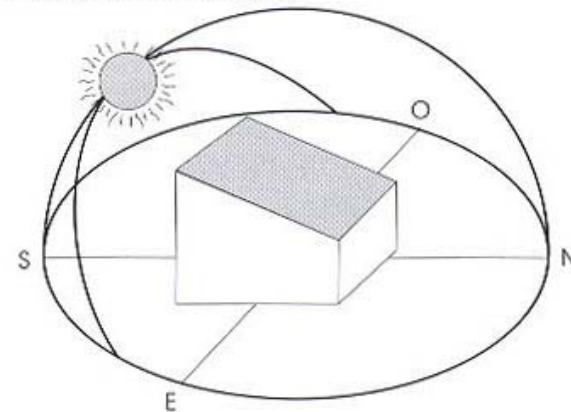
In estate si ha un discreto irraggiamento diretto.

FIG. 1 : LA COPERTURA PIANA



RADIAZIONE TOTALE DIRETTA GIORNALIERA A CIELO SERENO A  $40^\circ$  DI LATITUDINE NORD IN Kcal/mq: 1340

FIG. 2 : LA COPERTURA A UNA FALDA

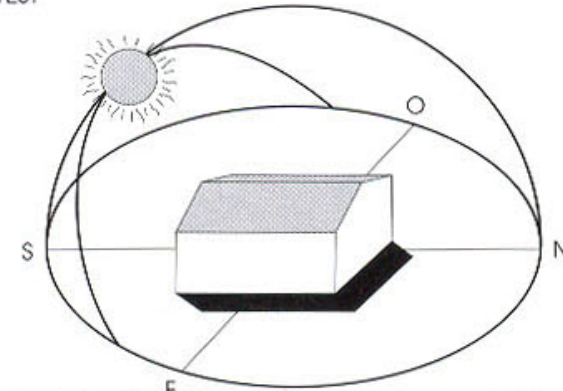


RADIAZIONE TOTALE DIRETTA GIORNALIERA A CIELO SERENO A  $40^\circ$  DI LATITUDINE NORD IN Kcal/mq:  
- 241 PER PENDENZE  $< 20^\circ$   
- 0 PER PENDENZE  $> 20^\circ$

Una copertura a due falde orientate est-ovest risulta sempre illuminata direttamente, ma a seconda della stagione varia l'intensità dei raggi solari, che risulta maggiore in estate.

Una copertura con falde orientate nord-sud, riceve un apporto termico diverso su ciascuna falda. Quella esposta a sud è sempre la più illuminata e riscaldata. In inverno la falda esposta a nord rimane quasi sempre in ombra: solo se inclinata a meno di  $20^\circ$  riceve un minimo apporto termico.

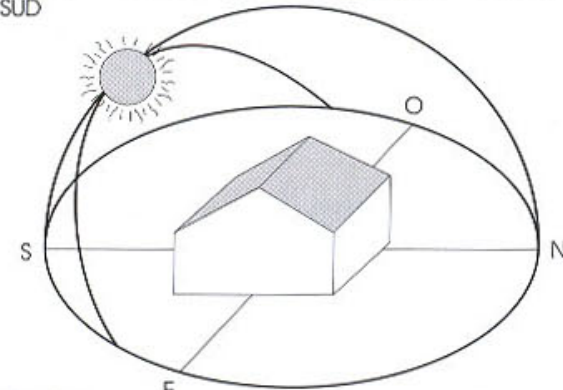
FIG. 3 : LA COPERTURA A DUE FALDE ORIENTATE SECONDO L'ASSE EST-OVEST



RADIAZIONE TOTALE DIRETTA GIORNALIERA A CIELO SERENO A  $40^\circ$  DI LATITUDINE NORD IN Kcal/mq:

- 317 PER PENDENZE DI  $45^\circ$
- 523 PER PENDENZE DI  $30^\circ$
- 134 PER PENDENZE DI  $20^\circ$

FIG. 4 : LA COPERTURA A DUE FALDE ORIENTATE SECONDO L'ASSE NORD-SUD



RADIAZIONE TOTALE DIRETTA GIORNALIERA A CIELO SERENO A  $40^\circ$  DI LATITUDINE NORD IN Kcal/mq:

- 236 PER PENDENZE  $< 20^\circ$
- 0 PER PENDENZE  $> 20^\circ$