



# **SOLARE TERMICO PASSIVO**

**Indice:**

Benessere termico .....	3
Il confort termico .....	3
Equilibrio termico e benessere.....	3
Valutazione del confort termico.....	9
Concetti del solare passivo.....	11
Raccolta della radiazione solare.....	11
Orientamento e inclinazione .....	12
Materiali trasparenti .....	13
Isolamenti mobili .....	14
Schermature .....	15
Schermi fissi.....	16
Schermi mobili.....	16
Vegetazione.....	17
Accumulo dell'energia solare .....	17
Materiali e spessori .....	17
Carico e scarico dell'accumulo.....	18
Effetto della massa.....	19
Distribuzione del calore solare.....	19
Luce naturale e confort visivo.....	20
Livelli di illuminazione.....	21
Abbagliamento.....	21
Sistemi di riscaldamento .....	22
Guadagno diretto.....	24
Guadagno indiretto.....	27
Muro Trombe e massivo .....	27
Muro di accumulo isolato .....	29
Muro d'acqua.....	29
Tetto d'acqua (roof pond).....	31
Guadagno isolato.....	32
Termosifone .....	33
Il sistema Barra-Costantini .....	34
Collettore a parete isolata.....	34
Serra solare.....	35
Sistemi a collettore ad aria .....	37
Varianti del sistema: .....	38
Preriscaldamento dell'aria di rinnovo.....	38
Riscaldamento ambiente diretto.....	39
Riscaldamento ambiente indiretto.....	39
Posizionamento dei collettori.....	39
Camino solare integrato nella parete.....	40
Sistema con accumulo.....	40
Sistemi di rinfrescamento.....	41
Il marchio Minergie ® .....	42
L'aspetto finanziario .....	43
Risparmio dei costi energetici.....	43
Ipoteca.....	43
Risanamento di edifici già esistenti .....	44
Fonti: .....	45

## Benessere termico

Il confort è definibile come la sensazione di benessere fisico e mentale o come la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda.

In generale una persona si trova in stato di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è quindi in una condizione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante.

Già dalla definizione è chiaro 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.

Nel seguito dell'analisi verrà analizzato principalmente il benessere di tipo termico e igrometrico.

## Il confort termico

Il confort termico dipende da:

- parametri fisici: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria, pressione atmosferica;
- parametri esterni: attività svolta che influenza il metabolismo, abbigliamento;
- fattori organici: età, sesso, caratteristiche fisiche individuali;
- fattori psicologici e culturali.

Inoltre in base alle condizioni sociali e ambientali si possono trovare diversi gradi di accettazione di situazioni non confortevoli. Infatti trovandosi in una prolungata situazione di disagio si possono ritenere "normali" anche situazioni ambientali che in contesti diversi sarebbero giudicate di malessere. In una civiltà evoluta come la nostra si richiede invece un elevato grado di confort. Infatti ogni progetto edile e tecnologico propone delle prestazioni di confort termico molto avanzate, e sarà l'utente finale a deciderle se e in quale misura usarle!

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

	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
Temperatura effettiva	20-22 °C	16-18 °C

## Equilibrio termico e benessere

Come tutti i mammiferi gli esseri umani hanno un sistema di controllo termico che permette un adattamento a condizioni ambientali molto variabili.

Il nostro organismo è in grado di attivare delle regolazioni affinché la temperatura corporea rimanga sempre mediamente attorno ai 37 °C.

La temperatura cutanea può invece variare molto di più al mutare delle condizioni ambientali. La pelle funziona infatti come scambiatore di calore con l'esterno. Si hanno quindi differenze fra la temperatura corporea interna (praticamente costante) e quella cutanea variabile in funzione della temperatura ambientale e della posizione corporea.

In **ambienti caldi** o per attività intense il meccanismo di regolazione adottato è in primo luogo la dilatazione dei vasi sanguigni dell'epidermide con conseguente aumento del flusso di calore verso la pelle e aumento del calore superficiale. Nel caso la vasodilatazione fosse insufficiente si attiva la produzione di sudore che evaporando causa una ulteriore dissipazione di calore.

In **ambienti freddi** inversamente l'organismo economizza il calore riducendo l'afflusso di sangue verso la cute attraverso la vasocostrizione e quindi riducendo il calore disperso per convezione e irraggiamento. Nel caso la vasocostrizione risultasse insufficiente sopraggiungono i brividi che incrementano il metabolismo muscolare e quindi la produzione di calore.

Oltre un dato limite queste regolazioni automatiche del nostro organismo non sono più sufficienti ed allora si hanno sensazioni di malessere di troppo caldo o troppo freddo. Andando oltre possono sopraggiungere gravi disturbi fino alla morte (mediamente sotto i 35 °C e sopra i 40 °C di temperatura corporea profonda).

I parametri principali che influenzano il benessere termico sono quindi:

- temperatura dell'aria;
- temperatura media radiante;
- velocità dell'aria;
- umidità relativa;
- attività (metabolismo);
- abbigliamento;
- fattori soggettivi.

### **Temperatura dell'aria (°C).**

La temperatura dell'aria è il fattore più importante nella determinazione del benessere termico.

### **Temperatura media radiante (TMR, °C).**

E' la temperatura media delle temperature delle superfici che delimitano l'ambiente incluso l'effetto dell'irraggiamento solare incidente. Influisce sugli scambi per irraggiamento. Assieme alla temperatura dell'aria, la TMR è il fattore che influenza maggiormente la sensazione di calore perché la radiazione che cade sulla cute ne attiva gli stessi organi sensori. Se il corpo è esposto a superfici fredde, una quantità sensibile di calore è emessa sotto forma di

radiazione verso queste superfici, producendo una sensazione di freddo. La variazione di 1 °C nella temperatura dell'aria può essere compensata da una variazione contraria da 0.5 a 0.8 °C nella TMR: la condizione più confortevole è stata considerata quella corrispondente ad una TMR di 2 °C più alta della temperatura dell'aria. Una TMR più bassa di 2 °C è pure tollerabile se la radiazione emessa dal corpo è quasi la stessa in tutte le direzioni e ciò avviene solo se le temperature superficiali dell'ambiente circostante sono praticamente uniformi. Si definisce anche la **temperatura operante** come la media fra la temperatura dell'aria e quella media radiante proprio per valutare con un unico valore gli scambi termici per convezione e irraggiamento.

### Velocità dell'aria (m/s).

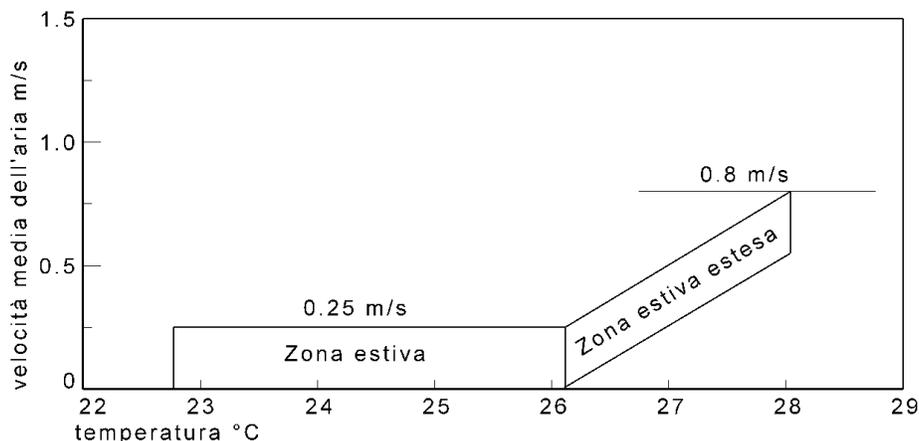
Il movimento dell'aria produce effetti termici anche senza variazione della temperatura ! Esa e può favorire la dissipazione del calore (se la temperatura dell'aria è minore di quella del corpo), attraverso la superficie dell'epidermide facendola evaporare specialmente per basse umidità (>50%).

Le reazioni medie soggettive alle varie velocità sono le seguenti:

- fino a 0.25 m/s: impercettibile;
- 0.25-0.50 m/s: piacevole;
- 0.50-1.00 m/s: sensazione di aria in movimento;
- 1.00-1.50 m/s: corrente d'aria da lieve a fastidiosa;
- oltre 1.50 m/s: fastidiosa.

Tutti gli ambienti sono soggetti a movimenti anche impercettibili dell'aria. Si inizia a percepire il movimento dell'aria a 0,3 m/s. Alle temperature più alte anche 1 m/s è considerato piacevole, ed una velocità sino a 1.5 m/s è tollerabile. Nella stagione fredda, all'interno di un locale riscaldato la velocità dell'aria non dovrebbe superare i 0.25 m/s.

Non esiste per la velocità dell'aria un limite inferiore necessario per il benessere, esiste invece un limite massimo per la velocità media negli spazi occupati.



La velocità media dell'aria nella zona occupata non deve superare 0,25 m/s. Comunque (in condizioni estive), la zona di confort può essere estesa a temperature maggiori di 26 °C se la velocità dell'aria aumenta di 0,275 m/s per ciascun grado K di aumento di temperatura, fino ad una temperatura massima di 28 °C e una velocità massima dell'aria di 0,8 m/s. La ventilazione influisce anche sulla qualità dell'aria interna e quindi sulla salute degli occupanti.

### **Umidità relativa (UR, %).**

L'umidità relativa è il rapporto fra la quantità di acqua contenuta in un Kg d'aria secca ad una certa temperatura e la quantità massima di acqua che potrebbe essere contenuta alla stessa temperatura dallo stesso kg d'aria. Perciò da un'indicazione della capacità dell'aria di far evaporare l'acqua (il sudore).

L'umidità dell'atmosfera, se non è estremamente alta o bassa, ha un effetto lieve sulla sensazione di benessere.

Alle temperature di benessere non c'è necessità di raffrescamento evaporativo mentre a temperature più alte questo diventa il mezzo più importante di dissipazione del calore. L'aria satura (100% di UR) impedisce qualsiasi raffrescamento di tipo evaporativo. In ogni modo l'umidità relativa non dovrà mai essere minore del 20% perché le membrane mucose si seccano, aumentano le possibilità di infezione.

A basse temperature l'aria molto secca accresce la sensazione di freddo in quanto l'umidità che raggiunge la superficie dell'epidermide evaporando provoca una spiacevole sensazione di freddo.

L'influenza dell'UR aumenta se ci si sposta fra ambienti con diverse quantità della stessa (cioè in regime dinamico) aumentando l'incidenza sulla sensazione di benessere fino a 2 o 3 volte.

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
	70%	Il sudore prodotto non evapora: sensazione di caldo
	81 %	aumento della temperatura corporea
	90 %	forte malessere
36 °C	10 %	nessun malessere
	20 %	impossibile il lavoro pesante
	65 %	necessità di riposo
	80 %	malessere

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

	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

### **Attività svolta (tasso di metabolismo).**

Il corpo produce costantemente calore in quantità variabile: "metabolismo" è il termine che descrive tali processi biologici. Il tasso di metabolismo è l'energia liberata per unità di tempo dalla trasformazione degli alimenti. La quantità richiesta dal corpo dipende dal livello di attività. Si esprime in Watt/mq di superficie corporea (circa 1,8 mq) o in "Met" (1 Met = tasso metabolico di una persona in riposo = 58 W/mq).

Esempio di tasso metabolico per diverse attività (AA VV, Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne):

Attività	Met	W/mq
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

## Abbigliamento.

Il vestiario influisce sulle perdite di calore per evaporazione, sugli scambi di calore per conduzione e irraggiamento. Il vestiario è l'isolamento termico delle persone e il cambio del vestiario rappresenta il più efficace sistema cosciente di controllo sulle dispersioni termiche.

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

Isolamento termico fornito da diverse combinazioni di abbigliamento (AA VV, Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne):

Abbigliamento	Resistenza termica	
	mq K/W	Clo
nudi	0	0
pantaloncini	0,015	0,1
tenuta tropicale tipica	0,045	0,3
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

## Fattori soggettivi

E' difficile poter definire in modo univoco il benessere termico. Questo perché è molto soggettivo e le sensazioni termiche di un individuo possono cambiare in funzione dell'età, del sesso, del grasso sottocutaneo, delle condizioni di salute, dell'attività svolta, della stanchezza, del cibo e delle bevande ingerite, ecc...

Il metabolismo delle persone anziane è più lento, per cui preferiscono temperature leggermente superiori. La donna ha un tasso di metabolismo leggermente più basso rispetto a quello dell'uomo e quindi in media preferisce una temperatura di 1 °C più alta rispetto all'uomo. Un corpo alto e magro ha un rapporto superficie/volume più grande rispetto ad una figura arrotondata e così perde proporzionalmente più calore: una persona magra preferisce perciò temperature più alte. Il grasso sotto la pelle agisce come un isolante, riducendo la conduzione del calore dagli strati profondi alla superficie, per cui è necessaria una temperatura più bassa per avere una soddisfacente dissipazione del calore.

Quando una persona è malata si può assistere a una disfunzione dei meccanismi di termoregolazione con la possibilità di un aumento della temperatura corporea e/o una sensibilità maggiore alla differenze di temperatura.

Per mantenere l'equilibrio termico la temperatura ambiente dovrebbe variare inversamente al tasso di metabolismo. Più consumiamo energie, più produciamo calore e minore sarà la temperatura per un benessere termico.

## Valutazione del confort termico

Tutti i fattori sopra elencati interagiscono fra loro per determinare le sensazioni di malessere o benessere.

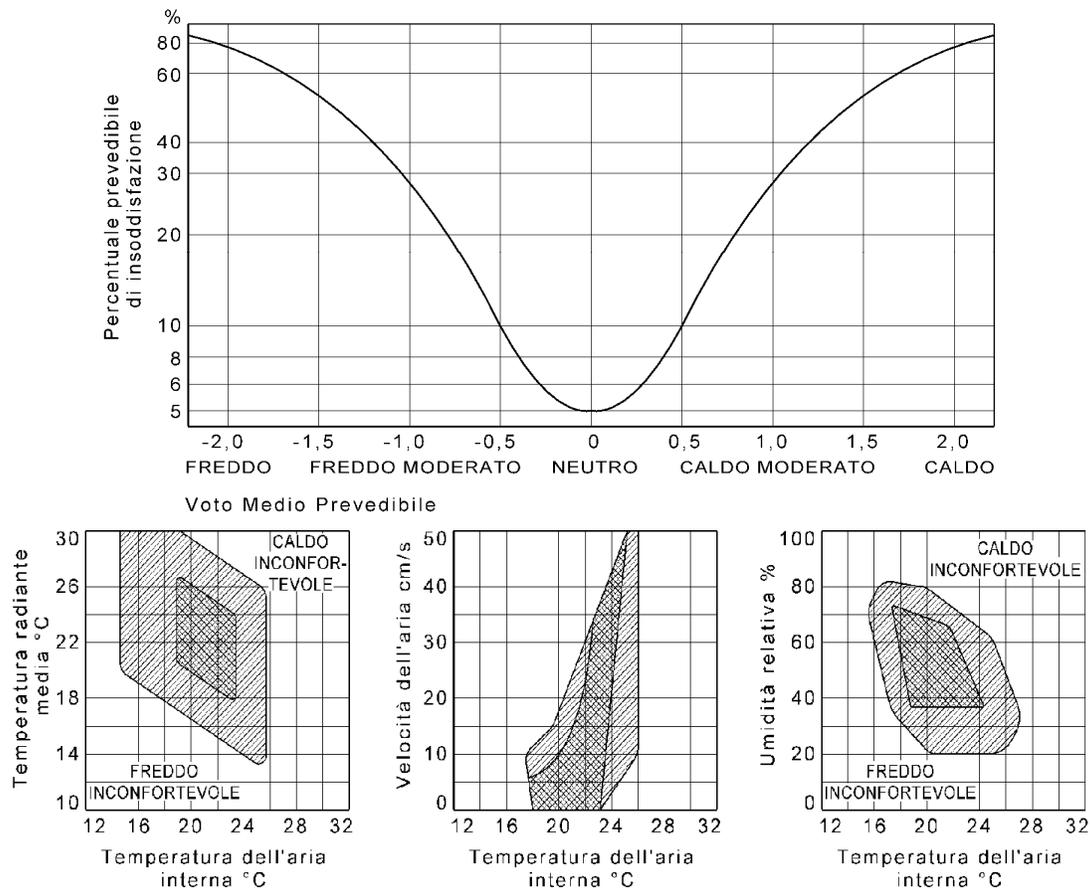
E' impossibile giudicare il confort ambientale sulla base di uno solo di questi parametri. Per la valutazione numerica delle condizioni ambientali a cui corrispondono sensazioni di benessere termico si è ricorsi a sperimentazioni di tipo statistico valutando il grado di soddisfazione di gruppi di persone all'interno di ambienti variamente climatizzati, intente ad una certa attività e con un determinato abbigliamento. Ad esempio nella metodologia sperimentale per la valutazione della sensazione termica dell'uomo sviluppata dallo scienziato danese P.O. Fanger si definiscono:

- PMV: voto medio previsto (Predicted Mean Vote);
- PPD: percentuale di persone non soddisfatte (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Essendo un modello statistico legato alla soggettività il diagramma risultante è di tipo gaussiano con un 5 % dei soggetti non d'accordo sulla condizione di neutralità. Dal 1984 il metodo del PMV è alla base della Norma Internazionale Standard ISO-7730 per la valutazione del confort termico in un ambiente. Alcune valutazioni di altri studiosi fra cui Humphreys introducono un modello adattivo sostenendo che il confort dipende anche dall'area geografica. Si sono infatti riscontrate delle differenze fra le temperature giudicate confortevoli a seconda della nazionalità.

Dalle valutazioni di Humphreys emerge anche che, soprattutto in periodi o climi caldi si raggiunge più facilmente una condizioni di confort se si può operare sui sistemi di controllo ambientale modificandoli a seconda delle proprie esigenze. Contrariamente in un ambiente climatizzato con condizioni costanti e non modificabili direttamente occorrono temperature più basse di 2 °C per il confort.

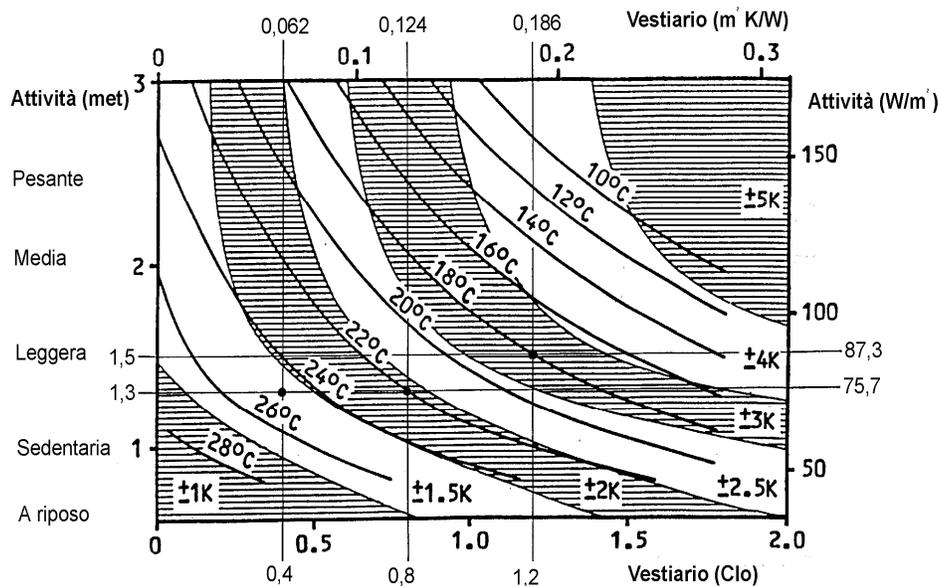
Relazione fra PMV e PPD (AA VV, Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne):



In conclusione si può determinare la temperatura operante che garantisce il confort in un dato ambiente in funzione dell'attività svolta e del vestiario, a parità di UR (50 %). Nel diagramma di fig. 4 le bande alternate indicano la variazione di temperatura (D T) attorno a quella ottimale, cioè la situazione considerata di benessere dall'80 % del campione in esame. Ad esempio si evidenzia che un soggetto intento in un'attività leggera (1,3 Met), con vestiario estivo (0,4 Clo), è in condizione di benessere ad una temperatura di 26 °C, con una variazione massima accettabile di 1,5 °C.

Nelle medesime condizioni ma con un vestiario più pesante (1,2 Clo) la temperatura ottimale è di 18 °C con una variazione accettabile di 3 °C.

Temperatura operante in funzione dell'attività e del vestiario (Rapporto Ing. Pancaldi):



## Concetti del solare passivo

In fase di progetto si possono già individuare le misure necessarie per ottenere condizioni di confort agendo attraverso un adattamento del progetto al fine di sfruttare gli elementi climatici. L'obiettivo primario è quindi quello di ridurre il più possibile, compatibilmente con le condizioni climatiche regionali, la necessità di interventi correttivi con mezzi meccanici (riscaldamento invernale, condizionamento estivo).

Il progetto di sistemi solari passivi si basa sui seguenti concetti generali:

- la raccolta della radiazione solare;
- l'accumulo dell'energia solare;
- la distribuzione del calore solare;
- la luce naturale e il confort visivo.

## Raccolta della radiazione 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. 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.

In questo modo l'edificio viene considerato come un enorme collettore "abitato", con finestre o superfici vetrate relativamente grandi e rivolte a sud, sud-est e sud-ovest.

Oltre che con una scelta accurata dei sistemi di accumulo e di distribuzione del calore, l'energia solare utile raccolta può essere massimizzata con:

- la scelta di un orientamento ed una inclinazione favorevoli;
- l'installazione di riflettori della luce solare;
- l'evitare ombre riportate;
- l'utilizzo di vetrate con elevata trasmittanza della radiazione solare;
- la scelta di un sistema ad elevato assorbimento della radiazione solare.

Per ridurre le dispersioni di calore possono essere utilizzati i seguenti sistemi:

- vetrate a bassa conduttanza termica;
- schermi isolanti mobili.

Un elevato assorbimento della radiazione solare implica o che la superficie assorbente è nera o che l'assorbimento apparente è elevato, come nei sistemi a guadagno diretto. Per controllare il guadagno solare è necessario ricorrere a schermi solari.

I schermi solari possibili per l'attenuazione della luce solare possono essere fissi, mobili o perfino schermi solari naturali come le piante.

## Orientamento e inclinazione

La scelta di un orientamento ed una inclinazione favorevoli è il modo principale per ottimizzare le prestazioni solari.

In generale, nella stagione del riscaldamento, la quantità maggiore di energia solare è raccolta da una superficie inclinata rivolta a sud. Ciò non è più vero quando, per esempio, c'è più sole al mattino che al pomeriggio o viceversa e questa asimmetria può essere causata da nubi o ombre.

La quantità di energia solare utilizzata dipenderà poi dall'accumulo termico e dal modello di domanda del calore. E ciò può influenzare la scelta dell'orientamento ottimale. Se la domanda di calore nel mattino è più bassa che nel pomeriggio, un orientamento verso sud-ovest può essere più vantaggioso.

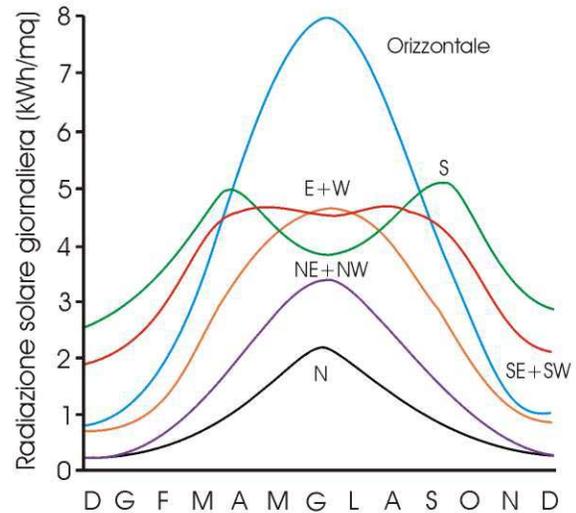
Se il piano del collettore non è rivolto esattamente a sud, la quantità di energia utile raccolta si riduce, anche se solo leggermente fino ad un angolo di 30° verso est o ovest. Dai 30° in poi l'efficacia di un collettore solare può essere notevolmente ridotta. Su una superficie verticale rivolta a sud, cade la maggiore quantità di energia solare. Al contrario, in estate maggiore energia cade su una superficie verticale rivolta ad est oppure ovest. Ciò ha l'effetto di ridurre i problemi del surriscaldamento per una superficie vetrata rivolta a sud durante la stagione estiva. L'inclinazione più corrente è quella verticale.

Per un posizionamento di un collettore bisogna anche tenere presente delle caratteristiche pratiche; come la pulizia dei vetri, lo scarico d'acqua condensata, facilità di montaggio del collettore e di una buona insolazione termica, ecc

Poiché molteplici sono gli aspetti da considerare nella determinazione della inclinazione ottimale, non può essere data una singola soluzione generale.

La riduzione della pendenza rispetto ad una superficie verticale rivolta a sud comporta:

- una maggiore quantità di energia solare raccolta durante la stagione del riscaldamento (l'inclinazione alla quale si riceve il massimo di energia, aumenta con l'aumentare della latitudine) e perciò a maggiori problemi di surriscaldamento nell'edificio, specialmente in estate;
- una maggiore perdita di radiazione termica verso l'atmosfera: il piano vedrà una più ampia sezione fredda della volta celeste;



L'irraggiamento verso un'apertura solare può essere aumentato posizionando un riflettore di fronte alla parete vetrata. I riflettori possono essere superfici metalliche, possibilmente protette da un materiale trasparente, mentre altre possibilità sono fornite dall'acqua e da superfici a colori chiari. La riflessione può essere sia riflette che diffusa. L'energia riflessa da un riflettore a diffusione è minore rispetto al caso di una superficie metallica, perché la riflettanza è spesso minore, inoltre la radiazione riflessa che raggiunge l'apertura solare è minore a causa della diffusione. In ogni modo le superfici metalliche possono portare a problemi di abbagliamento.

Riflettanza di diverse superfici:

Alluminio lucidato	0.95
Vernice bianca	0.87
Vernice all'alluminio	0.70
Vernice giallo canarino	0.70

## Materiali trasparenti

Il vetro è il materiale trasparente più comunemente usato. Bisogna pure tenere presente che i vetri si lasciano attraversare dalla luce solare solo quando essa incide sul vetro con angoli inferiori a 60°. Se la luce arriva con angoli di incidenza maggiori di 60°, buona parte della luce (se non tutta) verrà riflessa.

La maggior parte dei materiali trasparenti ha una bassa resistenza termica e il fattore più importante nel loro effetto di barriera termica è rappresentato dalla separazione tra aria interna ed esterna.

L'obiettivo sarebbe di mantenere un'efficiente trasmittanza della energia solare con la riduzione delle dispersioni di calore. Le proprietà termiche e solari di un vetro singolo possono essere migliorate aggiungendo uno o più strati di vetro (così si migliorano le proprietà isolanti in quanto si creano strati di aria nell'intercapedine, anche se ciò riduce leggermente la trasmittanza solare). Inoltre l'intercapedine tra gli strati di materiale trasparente può essere riempita con gas pesante, come l'anidride carbonica, e una superficie selettiva può essere aggiunta al vetro. Il gas pesante riduce le dispersioni di calore per convezione, mentre la superficie selettiva, trasparente alla radiazioni luminose, riflette la radiazione termica.

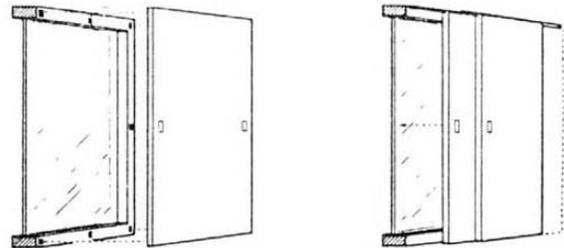
Si possono usare vetri a basso contenuto di ferro. Questi hanno una trasmittanza solare più alta dei vetri ordinari e sono solo leggermente più costosi.

I materiali trasparenti riflettenti il calore, per evitare il surriscaldamento interno in estate, ammettono meno luce solare durante la stagione del riscaldamento. Si stanno sviluppando materiali trasparenti a trasmittanza variabile, denominati cromogenici, che possono cambiare la loro trasmittanza per effetto della luce (fotocromici), del calore (termocromici) e di campo elettrico (elettrocromici).

Altri materiali possibili sono certi polimeri sotto forma di film trasparenti. Alcuni hanno una trasmittanza solare molto alta e possono essere utilizzati in strutture multistrato per dare un ottimo comportamento sia termico che solare. Ma molti sono trasparenti alle radiazioni termiche, non sono rigidi e i loro infissi sono quindi costosi.

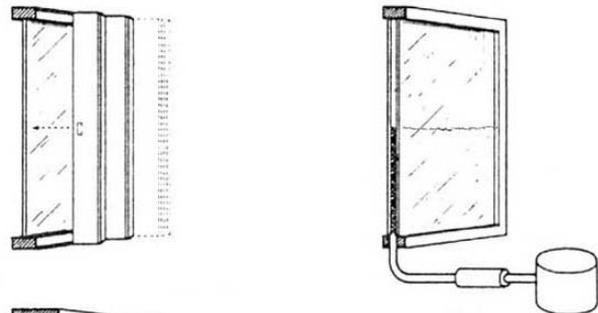
Anche gli infissi delle finestre giocano un ruolo importante nella dispersione del calore.

Quelli di legno e di PVC hanno le migliori proprietà termiche. Gli infissi di alluminio sono confrontabili solo se dotati di barriera termica, anche in relazione ai problemi di condensazione.



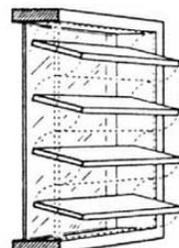
### Isolamenti mobili

I materiali trasparenti non sono le sole barriere termiche utilizzabili, anche degli schermi isolanti mobili possono essere usati quando viene a mancare la luce solare diretta, oppure di notte.



Lo schermo più semplice è la tenda. E' possibile migliorarne la resistenza termica aggiungendo strati a bassa emissività, usando speciali materiali isolanti o curando il dettaglio dei bordi.

Altri sistemi di isolamento interno per la notte



sono gli scuretti isolanti.

Con gli isolamenti mobili interni può nascere il problema della condensa sui vetri.

Se l'isolamento è applicato dietro la vetrata e non viene rimosso durante il periodo di soleggiamento è possibile che stress termici causino la rottura del vetro. Ciò dipende anche dal dettaglio di fissaggio dei bordi che può permettere o meno la dilatazione del vetro. Le intercapedini tra gli strati della vetrata possono essere usate per degli isolamenti mobili quali: drappi, fogli di

materiale a bassa emissività, tendine avvolgibili e "beadwall", ossia un riempimento di perline di polistirene pompate con mezzi meccanici nell'intercapedine di notte e rimosse di giorno. I pannelli isolanti mobili da installare all'esterno sono un'altra possibilità, ma devono resistere alla pioggia, al vento, al ghiaccio e ai raggi ultravioletti.

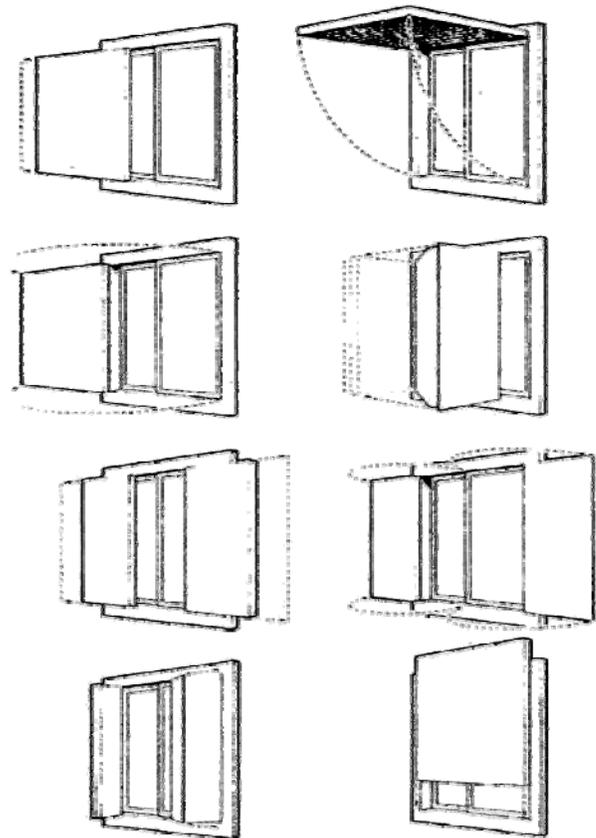
L'importante principio che governa l'isolamento mobile è che lo strato isolante deve essere posto sulla superficie esterna del componente solare (per ridurre i problemi di condensazione e quelli dello stress estivo, rispetto all'applicazione interna) e deve creare una camera d'aria dai contorni ben sigillati (soprattutto in inverno) per ottenere un efficace isolamento.

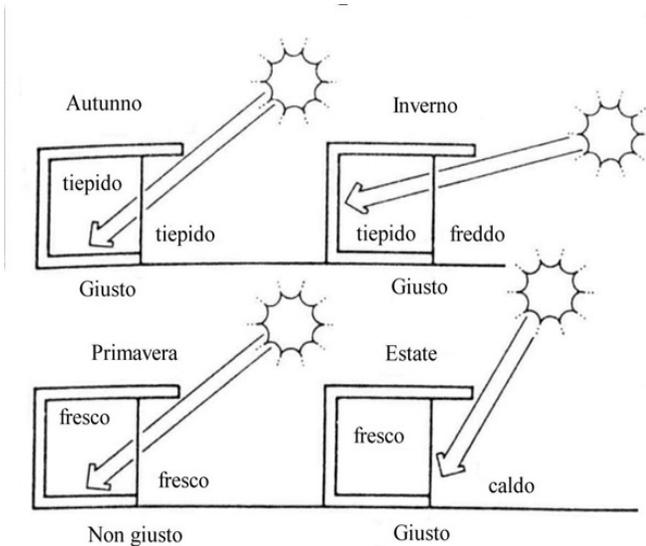
Il tempo richiesto all'utilizzatore per aprire e chiudere la maggior parte di questi sistemi è considerevole, fatta eccezione per quelli dotati di controllo meccanico. Inoltre i sistemi mobili sono efficaci solo quando sono operativi e quindi non possono ridurre le dispersioni di calore durante il giorno.

## Schermature

Al fine di controllare l'immissione in ambiente di radiazione solare diretta è necessario utilizzare degli schermi.

E' importante notare che quando si usa uno schermo orizzontale, l'orientamento a sud dell'edificio o dell'apertura solare è essenziale: basta una piccola deviazione (poco più di 8°) per ridurne l'efficacia.





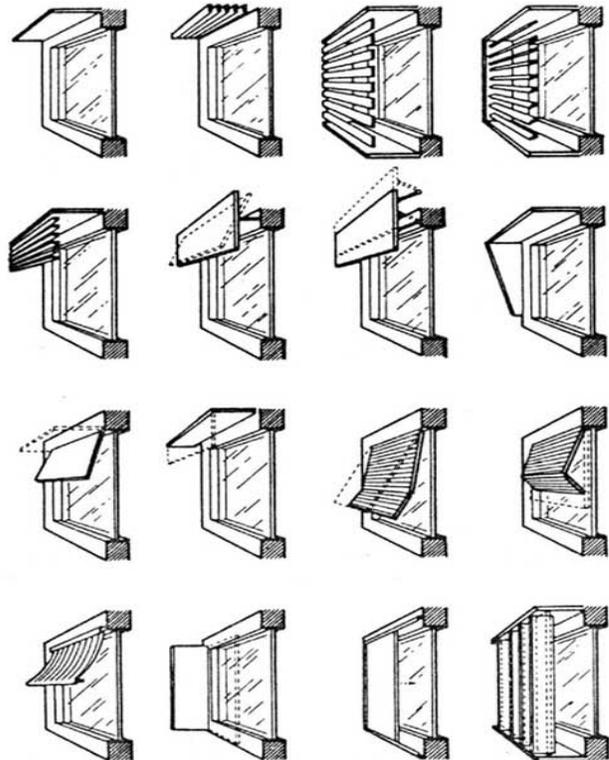
Le schermature fisse, come lo schermo orizzontale qui in foto, si basano sul principio che il sole estivo è più alto di quello invernale. Perciò, dimensionando correttamente l'angolazione e la lunghezza del tettino, è possibile fare in modo che i raggi solari possano penetrare nell'edificio durante i mesi freddi (riscaldando la casa) e venire bloccati dal tetto durante i mesi caldi (così da tener fresco l'ambiente di casa).

## Schermi fissi

La schermatura più efficace per una finestra rivolta a sud è quella orizzontale, mentre per le finestre rivolte ad est oppure ovest si devono usare schermi verticali. I dispositivi più semplici sono gli aggetti ed i frangisole. Il difetto principale degli schermi fissi è che l'entità della schermatura è determinata dalle stagioni solari, piuttosto che da quelle climatiche e ciò produce effetti schermanti anche in periodi in cui è richiesto un riscaldamento passivo. Gli schermi fissi tagliano sempre una parte della radiazione diffusa e quindi riducono l'illuminazione naturale.

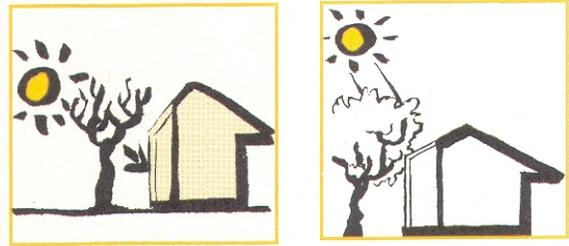
## Schermi mobili

I schermi mobili possono essere le tende, gli schermi veri e propri, le persiane e gli scuretti. Gli schermi mobili dovrebbero essere progettati anche allo scopo di isolare di notte, durante la stagione del riscaldamento. Gli schermi interni sono meno efficaci in quanto la luce solare entra comunque nell'edificio e non può essere efficacemente riflessa all'indietro, ma comunque per questa ragione gli schermi interni devono avere una colorazione chiara. L'efficienza degli schermi esterni, in quanto dissipano all'aria l'energia solare assorbita, è del 30% superiore a quella degli schermi interni, anche se questi ultimi sono più economici e facili da manovrare manualmente. Il controllo degli schermi può essere sia manuale che meccanici. I controlli meccanici fanno uso di energia elettrica e possono intervenire sia con il consenso manuale che con quello di un sensore fotoelettrico.



## Vegetazione

Una vegetazione decidua può essere usata come schermo, ma ciò comporta comunque una riduzione permanente della radiazione solare incidente e quindi questo sistema dovrebbe essere evitato, almeno in aree con limitata radiazione solare invernale. Alberi di latifogli possono essere fonte di ombra e di freschezza in estate e dare poca protezione solare in inverno in quanto spoglie.



## Accumulo dell'energia solare

L'edificio è pure un enorme unità di accumulo di calore. Ciò è ottenuto disponendo nelle strutture opportune quantità di materiale ad alta capacità termica per l'accumulo di energia solare. Questi materiali sono il cemento, i mattoni, le pietre e l'acqua e dovrebbero essere situati nel pavimento, nelle pareti e nel soffitto.

In una giornata serena, l'energia solare assorbita da un sistema passivo può superare largamente la domanda di calore, ma questo esubero di energia può essere accumulato per essere utilizzato più tardi, quando necessita. Se troppo calore è rilasciato nell'ambiente si può produrre un surriscaldamento, forzando così gli occupanti ad abbassare schermi o a ricorrere ad una ventilazione forzata. E in questo modo una parte potenziale di energia utile verrà perduta. L'accumulo ha quindi due scopi: quello di recuperare l'energia in esubero e di evitare il surriscaldamento. Inoltre, in certe circostanze, l'accumulo può assorbire il calore rilasciato dal sistema di illuminazione elettrica, dagli elettrodomestici e dagli occupanti.

L'efficienza di un accumulo dipende dalle dimensioni e i materiali costituenti l'accumulo e dai modi in cui il calore viene immagazzinato e rilasciato.

## Materiali e spessori

La capacità termica di una certa quantità di materiale è la quantità di calore che deve essere fornita al materiale per innalzare la sua temperatura di 1°C. La capacità termica dei più comuni materiali da costruzione e dell'acqua (per quest'ultima tra il punto di congelamento e quello di ebollizione) è praticamente indipendente dalla temperatura. I materiali che subiscono un cambiamento di fase (PCM) assorbono calore quando fondono e lo rilasciano quando risolidificano e questo avviene in un ristretto intervallo di temperatura detto "intervallo di fusione". In questo intervallo i materiali presentano il più alto valore della capacità termica.

La capacità termica dei più comuni materiali da costruzione dipende principalmente dalla densità.

Calore specifico, densità e capacità termica di diversi materiali:

Materiale	Calore specifico	Densità	Capacità termica
	KJ/Kg °K	Kg/m <sup>3</sup>	KJ/m <sup>3</sup> °k
Fibreboard	1	300	300
Cemento leggero	1	600	600
Legname	1.21	600	726
Intonaco	1	1300	1300
Mattoni	0.8	1700	1360
Cemento	0.84	2100	1760
Acqua	4.2	1000	4200
PCM	5.1	1355	6910

La massa (in questo caso la massa termica) è quindi una buona misura della capacità termica. Comunque la massa efficace per l'accumulo è generalmente minore della massa totale. Questa massa dipende fortemente dalla frequenza con la quale l'accumulo è caricato e poi scaricato. Questo perché la superficie più esterna del materiale accumula energia termica più velocemente delle parti più interne! Perciò è possibile che la temperatura esterna diminuisca ancor prima che le parti più interne abbiano incominciato a riscaldarsi.

L'acqua presenta generalmente le migliori caratteristiche ed inoltre, per effetto della circolazione naturale, è possibile ottenere un accumulo praticamente isoterma, se il progetto riesce a limitare il fenomeno della stratificazione. Le caratteristiche dell'acqua sono superate solo dai materiali a cambiamento di fase, anche se il calore viene generalmente accumulato a temperatura inferiore. Questa proprietà può essere molto vantaggiosa se il PCM è impiegato all'interno di un locale, in quanto, se la sua temperatura di fusione è leggermente superiore a quella richiesta per l'ambiente, il materiale può funzionare come un termostato: il calore in esubero può essere accumulato senza un sensibile aumento della temperatura e può essere rilasciato dall'accumulo a temperatura praticamente costante. I problemi maggiori nell'utilizzo di questi materiali sono dati dal loro contenimento.

### Carico e scarico dell'accumulo

Il mezzo più efficace per trasferire calore ad un accumulo è quello di metterlo a contatto diretto con la radiazione solare (accumulo primario). Un'altra possibilità è il contatto termico radiativo con un'area illuminata dal sole (accumulo secondario). Un terzo sistema, ma meno efficace, usa la convezione naturale: l'aria viene prima riscaldata in uno spazio solare o un collettore e poi trasferita all'accumulo (in questo caso si parla di accumulo isolato). L'accumulo isolato può essere costituito da un letto di pietre, da un doppio solaio, da un volume di stoccaggio termico situato lontano dall'edificio oppure dalla rimanente parte delle strutture dell'edificio.

## Effetto della massa

La massa termica ha un effetto considerevole sulle fluttuazioni della temperatura interna dell'ambiente. In ogni caso non ha senso aumentare lo spessore della massa termica all'eccesso; infatti le fluttuazioni diminuiscono solo fino ad un certo valore dello spessore, chiamato "spessore critico". Dopodichè, un aumento dello spessore non ha rilevanti effetti sul sistema termico.

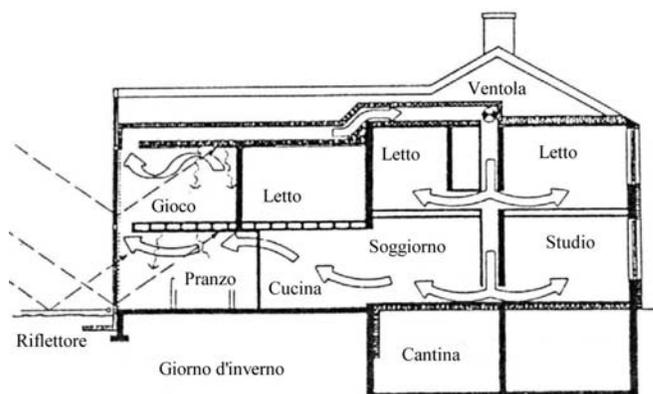
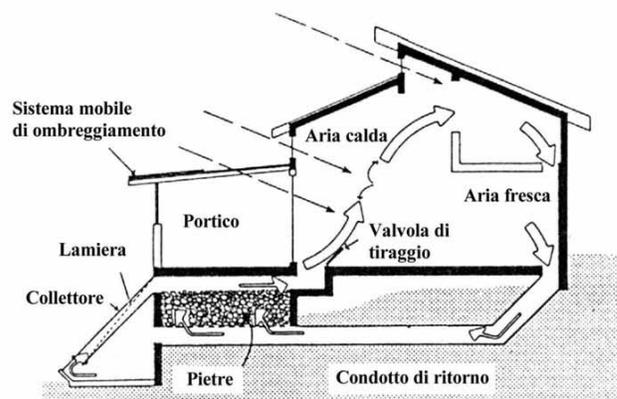
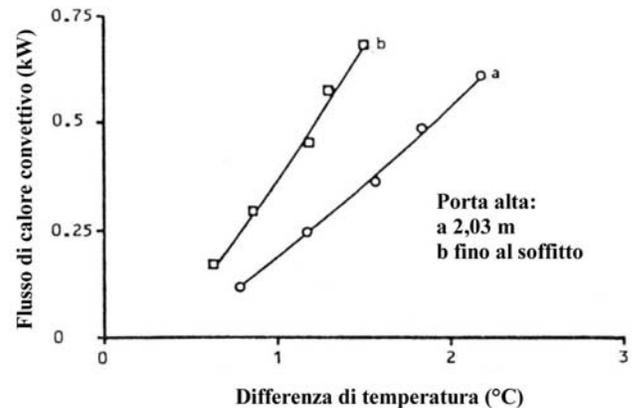
## Distribuzione del calore solare

La distribuzione ha lo scopo di far giungere il calore solare a tutti i locali in cui necessita e dipende direttamente dal progetto dell'edificio e del sistema di riscaldamento.

Obiettivo del progettista è quello di minimizzare la rete di distribuzione. Il sistema più efficace per distribuire l'energia solare è quello di disporre i locali in modo che l'energia sia raccolta ed accumulata direttamente al loro interno o nelle immediate vicinanze.

La distribuzione dell'energia solare nell'ambiente deve poi prevenire la formazione di forti gradienti tra le temperature superficiali e quella dell'aria. Se, ad esempio, in un sistema diretto sono disponibili quantità sufficienti di massa termica primaria e secondaria, la distribuzione per scambio di calore tra le pareti (scambio radiativo) e tra le pareti e l'aria (scambio convettivo) sarà adeguata. La distribuzione in un sistema diretto può essere migliorata anche utilizzando vetri diffusori.

Se troppo calore solare è rilasciato nell'ambiente, questo può essere parzialmente trasferito ad un locale adiacente semplicemente aprendo una porta. La circolazione dell'aria da una stanza all'altra può essere meglio attivata se l'altezza della porta si estende sino al soffitto, evitando così la formazione di aria calda stagnante in prossimità del soffitto. La quantità di radiazione termica trasmessa al locale adiacente sarà invece molto piccola.



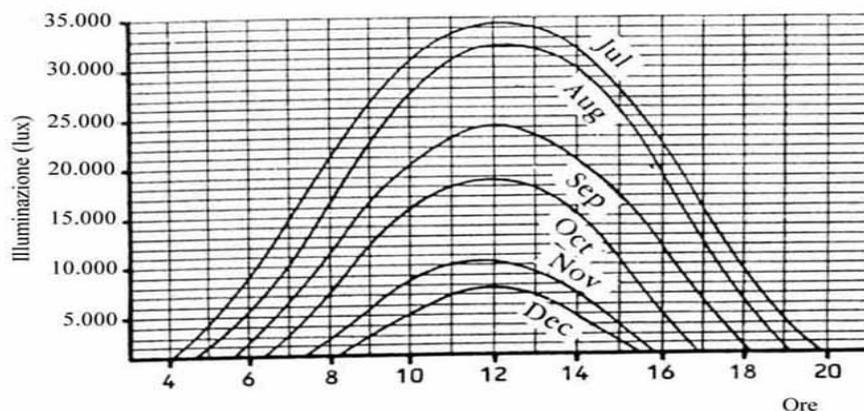
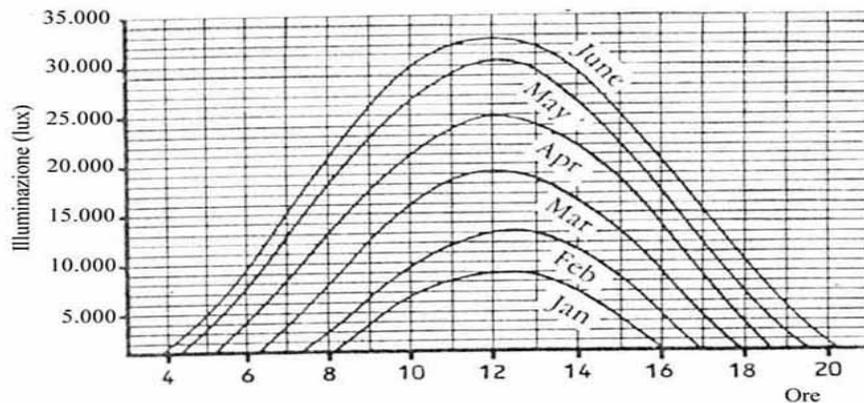
Con un sistema di accumulo isolato o per il recupero di un forte esubero di energia solare sul lato sud dell'edificio, si richiede un sistema di distribuzione più complesso. Un sistema di riscaldamento ad aria centralizzato può regolare la distribuzione mediante il ricircolo dell'aria interna. Può essere però rischioso progettare un edificio dove la distribuzione ha luogo esclusivamente per mezzo della circolazione naturale (convezione pura e moto dell'aria prodotto dalla pressione del vento). E' più sicuro affidarsi a canali dell'aria e ventilatori per il trasferimento del calore.

## Luce naturale e confort visivo

Nel progetto di un edificio solare passivo le finestre devono essere concepite come una sorgente sia di calore che di luce, quindi i concetti base dell'edilizia tradizionale per la determinazione delle dimensioni e della posizione delle finestre possono non essere più adeguati. In un sistema a guadagno diretto c'è il rischio di un eccessivo illuminamento, mentre con una parete Trombe o con il sistema Barra-Costantini l'ottimizzazione del sistema stesso può avvenire a scapito dell' illuminazione naturale.

Il problema principale nell'illuminazione naturale è il confort visivo: troppa luce può dare problemi di abbagliamento e di contrasto e troppa poca porta a ricorrere alla luce artificiale.

Illuminazione del cielo misurata da Kew:



## Livelli di illuminazione

La luce entra nella stanza direttamente dal cielo o dal sole, o indirettamente per riflessione (edifici e strutture adiacenti e terreno).

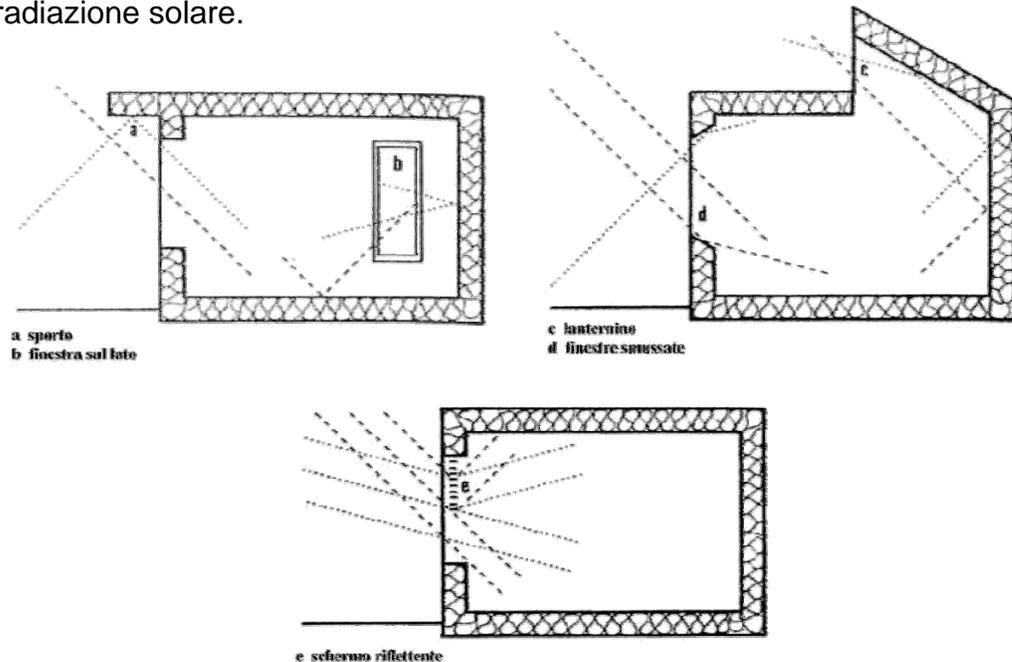
La sua distribuzione all'interno dipende dalle dimensioni e forma del locale e dalla riflettanza delle pareti. Poiché la quantità di luce naturale dipende principalmente dalla località e dall'ora del giorno (fig. 11), il livello interno di illuminazione è espresso come una percentuale dell'illuminamento esterno su una superficie orizzontale con orizzonte non ostruito: questo valore è chiamato "fattore di luce diurna". Per una particolare distribuzione della illuminanza del cielo, questo fattore dipende dalle riflettanze interne ed esterne, dalla forma delle ostruzioni, dalla finestra e dalla stanza.

## Abbagliamento

Ogni sorgente di luce forte nel campo visivo di un osservatore può causare abbagliamento e questo è senz'altro vero per il sole ed il cielo visti da una finestra, ma anche una superficie illuminata può causare un certo disagio.

Per evitare l'abbagliamento è importante ridurre la luminosità proveniente dalla finestra ed aumentarla in prossimità della stessa e questo può essere ottenuto con i seguenti accorgimenti:

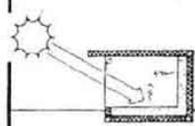
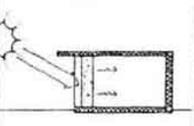
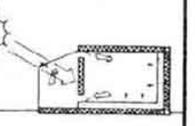
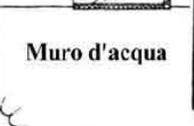
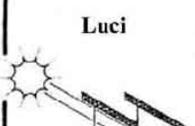
- infissi e pareti finestrate in colori chiari, come pure bordi smussati per ridurre il contrasto;
- finestre laterali e lucernai per innalzare il livello di illuminamento dietro la finestra;
- persiane riflettenti per ridurre la vista del cielo, ma nello stesso tempo per riflettere la luce solare sul soffitto;
- modifiche alla riflettanza delle pareti e del soffitto della stanza;
- schermi per ridurre la vista del cielo, anche se ciò è in conflitto con la necessità di raccogliere la radiazione solare.



## **Sistemi di riscaldamento**

I sistemi di riscaldamento solare passivo possono essere classificati sulla base dei seguenti tre fattori:

- le caratteristiche dell'apertura per la raccolta della radiazione solare;
  - apertura a sud costituita da un elemento vetrato verticale sulla parete sud (raccolge principalmente l'energia solare invernale);
  - apertura di un tetto a "shed" costituita da elementi vetrati verticali ed elementi opachi inclinati che raccolgono la radiazione solare principalmente dal cielo a sud (raccolge principalmente l'energia solare invernale);
  - apertura a soffitto costituita da un collettore orizzontale o inclinato che normalmente raccoglie l'energia solare dalla parte alta del cielo (sole sia invernale che estivo);
  - apertura isolata, cioè separata dall'edificio che può essere posizionata con qualsiasi angolo per raccogliere energia solare da ogni parte del cielo.
- l'interazione tra radiazione solare e accumulo termico;
  - accumulo termico primario definito come l'area di stoccaggio colpita direttamente dalla radiazione solare;
  - accumulo termico secondario definito come l'area dei materiali strutturali disposti all'esterno dell'area illuminata, ma che è in contatto termico radiativo con l'accumulo primario;
  - accumulo termico isolato, ossia nascosto alla vista dei due precedenti accumuli e quindi non in contatto radiativo con essi. Il trasferimento di calore all'accumulo isolato è possibile solo tramite convezione, sia naturale che forzata.
- il sistema di rilascio dell'energia nello spazio riscaldato.
  - sistemi a guadagno diretto in cui l'accumulo primario è all'interno dello spazio abitato e la sua superficie, che raccoglie la radiazione solare, riemette l'energia termica nello stesso spazio;
  - sistemi a guadagno indiretto in cui l'accumulo termico primario fa parte del tamponamento esterno dell'edificio, per cui la radiazione solare è assorbita direttamente dall'accumulo senza entrare direttamente nello spazio abitato. L'accumulo termico agisce come elemento moderatore tra superficie di raccolta e spazio interno;
  - sistemi a guadagno isolato in cui la superficie di raccolta è separata dall'accumulo termico ed il trasferimento dell'energia deve essere attivato tra i due o dal collettore allo spazio abitato direttamente.

	Sistemi diretti	Sistemi indiretti	Sistemi isolati
Aperture a sud	<b>Radiazione non diffusa</b> 	<b>Muro massivo</b> 	<b>Serra</b> 
	<b>Radiazione diffusa</b> 	<b>Muro Trombe</b> 	<b>Barra Costantini</b> 
	<b>Serra diretta</b> 	<b>Muro d'acqua</b> 	<b>Collettore massivo isolato</b> 
		<b>Muro isolato</b> 	
Aperture a shed	<b>Luci</b> 	<b>Solaio d'acqua</b> 	<b>Attico nero</b> 
	<b>Lucernaio</b> 	<b>Tetto d'acqua</b> 	
Aperture nel tetto			
Aperture isolate			<b>Termosifone</b> 
			<b>Termosifone</b> 

Vi presentiamo i sistemi usati più di frequente:

### **Guadagno diretto**

Il sistema a guadagno diretto è il più semplice ed è costituito da un edificio ben isolato con ampie finestre rivolte a sud. Le finestre permettono la trasmissione della radiazione solare invernale, incidente con bassa angolazione. In estate l'elevata altezza del sole riduce l'insolazione trasmessa, mentre una sporgenza può anche escluderla completamente. L'edificio necessita di una massa termica per accumulare il calore durante il giorno e rimetterlo durante la notte.

#### **Descrizione:**

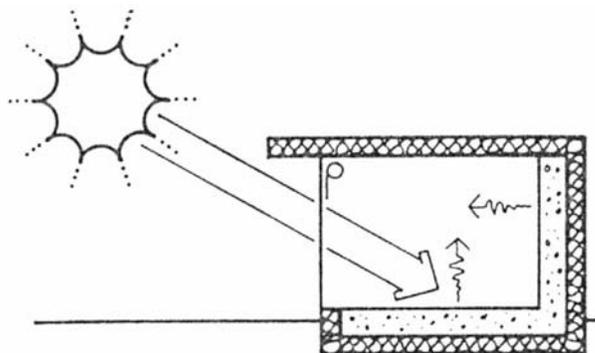
Il concetto di guadagno diretto è la soluzione più comune per un edificio solare passivo. La radiazione solare entra nello spazio abitato e cade sulla massa dell'accumulo termico. In questo modo lo spazio abitato, avendo raccolto ed accumulato l'energia solare, si comporta come un collettore.

#### **Requisiti:**

I requisiti base di un sistema a guadagno diretto sono:

- un'ampia superficie vetrata rivolta a sud e in comunicazione diretta con lo spazio abitato;
- una massa termica esposta nel soffitto e/o nel pavimento e/o nelle pareti con area e capacità termica opportunamente dimensionate e posizionate per l'esposizione alla radiazione solare e per l'accumulo;
- un isolamento della massa termica dalle condizioni climatiche esterne.

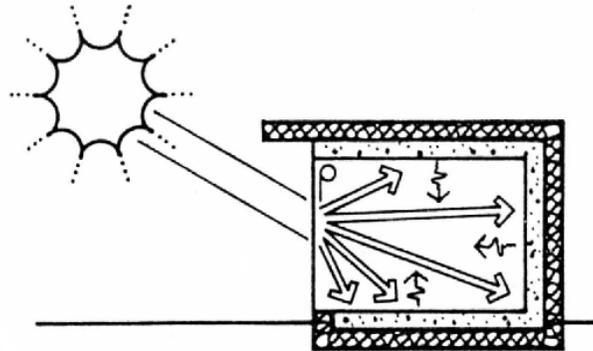
Molti edifici moderni hanno grandi vetrate rivolte a sud, ma la mancanza di un accumulo termico impedisce di sfruttare completamente il loro guadagno solare.



#### **Varianti:**

Oltre questi requisiti base, esiste una serie di varianti. Le varianti più comuni riguardano la scelta e il posizionamento dei materiali della massa termica. L'accumulo primario può avere

varie configurazioni: a pavimento o come massa libera all'interno del locale, a soffitto o come parete interna o esterna. I materiali utilizzati per la massa termica possono variare dal cemento ai mattoni all'acqua e/o altri liquidi, scelti singolarmente o in varie combinazioni.



Entrambi hanno una vetrata rivolta a sud, ma differiscono per il modo con cui la luce solare viene distribuita quando penetra nell'edificio. Uno consente alla radiazione solare di colpire un'area concentrata di massa termica e l'altro diffonde o riflette la luce solare in modo da distribuirla su una più ampia area di massa termica.

L'uso di vetri diffusori, tendine o della riflessione tramite superfici di colore chiaro, ha l'effetto di diffondere la radiazione solare ovunque attraverso il locale.

### Controlli:

L'adozione di opportuni controlli per i sistemi solari passivi diventa necessario se si vuole combinare efficienza e utilità. L'ampia superficie vetrata richiesta dagli edifici a guadagno diretto può produrre variazioni di temperatura intollerabili all'interno del locale abitato: disponendo di un sufficiente accumulo termico, per assorbire e stoccare l'energia in eccesso, si moderano queste fluttuazioni.

Per prevenire il surriscaldamento sono richiesti sistemi di schermatura della superficie vetrata. In estate un tetto esterno costituisce uno schermo adeguato, data la maggiore altezza del sole, mentre la ventilazione dei locali interni può ridurre l'eccessiva temperatura dell'aria.

Per evitare perdite di calore in inverno o di notte è necessario isolare la superficie vetrata: possono avere la loro efficacia pannelli mobili isolanti, tende o serrande. Senza queste considerazioni sui controlli, un sistema passivo può produrre condizioni di disagio causate dalle perdite di calore in inverno o dal surriscaldamento nelle altre stagioni.

**Vantaggi:**

- il guadagno diretto è il più semplice sistema di riscaldamento solare e quindi il più facile da realizzare. In molti casi lo si ottiene semplicemente ridistribuendo le finestre;
- l'ampia superficie vetrata non consente soltanto l'ingresso di un'elevata quantità di radiazione solare per il riscaldamento, ma permette di ottenere un elevato standard di illuminazione naturale assieme ad un migliore rapporto visuale con l'esterno;
- il materiale per le vetrate è ben conosciuto e di basso costo, oltre che facilmente reperibile;
- il sistema può essere considerato uno dei metodi meno dispendiosi per il riscaldamento solare degli ambienti.

**Difetti:**

- grandi aree vetrate possono produrre abbagliamento di giorno e una perdita di privacy di notte;
- la radiazione ultravioletta contenuta nella radiazione solare può degradare tessuti e fotografie;
- per raggiungere un elevato risparmio energetico sono necessarie ampie superfici vetrate e quindi grandi masse termiche per attenuare le variazioni di temperatura: queste masse possono essere costose, soprattutto se non hanno funzioni strutturali;
- anche con una massa termica adeguata si possono avere fluttuazioni della temperatura diurna intorno ai 10°K;
- l'isolamento notturno dell'apertura solare è sicuramente necessario per i climi più freddi e questo può risultare costoso e difficoltoso.

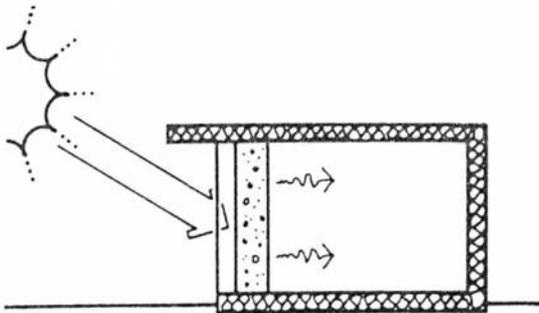
## Guadagno indiretto

I muri Trombe, massivo e d'acqua, nonché il tetto d'acqua sono tutti sistemi a guadagno indiretto che combinano, in alcune parti del tamponamento esterno dell'edificio, le funzioni di raccolta e accumulo della radiazione solare e di distribuzione del calore.

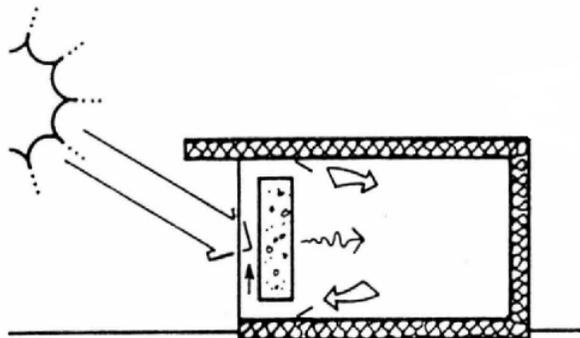
### Muro Trombe e massivo

#### Descrizione:

Muro Massivo:



Muro Trombe



Nei sistemi con muro Trombe e massivo la massa termica per l'accumulo è costituita da una parete rivolta a sud, realizzata in muratura o in calcestruzzo, con la superficie esterna protetta da una vetrata per ridurre le dispersioni di calore. La differenza tra il muro massivo e quello Trombe è che in quest'ultimo sono praticate aperture di aerazione, sia nella parte bassa che in quella alta della parete, per permettere la circolazione dell'aria attraverso lo spazio riscaldato. Il sistema Trombe è stato così denominato a seguito del lavoro pionieristico condotto da Felix Trombe e Jacques Michel a Odeillo in Francia.

#### Requisiti e varianti:

Gli elementi richiesti dai sistemi con muro Trombe e massivo sono un'ampia superficie vetrata rivolta a sud con una massa termica di accumulo posta immediatamente al suo interno. La scelta dei materiali per l'accumulo comprende cemento, pietre e muratura di mattoni. La radiazione solare, incidente sulla parete massiva, viene assorbita producendone il riscaldamento superficiale.

Questo calore, sotto forma di un'onda smorzata di temperatura, è trasferito per conduzione alla superficie interna del muro e da questa trasmesso all'ambiente per irraggiamento e convezione.

Nel muro massivo il calore dovrà attraversare la parete per arrivare all'ambiente abitato. Per un muro in cemento ci vogliono circa 18 minuti per il calore per attraversare un centimetro di cemento. Perciò è possibile calcolare lo spessore del muro al fine di avere un riscaldamento dell'ambiente nelle ore di maggiore necessità.

Per mezzo delle aperture di aerazione alla base e nella parte alta della massa d'accumulo, l'aria calda può salire ed entrare nell'ambiente, richiamando l'aria più fredda della stanza all'interno del collettore attraverso le aperture della parte bassa. Le aperture dovrebbero essere controllate a mezzo di serrande per impedire la circolazione inversa durante la notte.

### **Controlli:**

Per raggiungere l'efficienza ottimale di questi sistemi è necessario ridurre in inverno le perdite di calore verso il cielo di notte o durante una giornata con cielo coperto: questo si può ottenere mediante una serranda esterna isolante o aumentando la resistenza termica della vetrata (vetri doppi o riflettenti il calore), oppure applicando uno strato selettivo sulla superficie del muro, che sia caratterizzato da un elevato assorbimento della radiazione solare e da una bassa emissività della radiazione termica.

In estate può essere impedito il riscaldamento della massa d'accumulo tramite aggetti, isolamenti mobili o mediante aperture di aerazione in comunicazione con l'esterno. Per certi climi il muro Trombe può essere usato in estate come camino solare: in questo modo il movimento continuo dell'aria sottrae calore all'edificio, richiamando aria più fredda, ad esempio dal lato nord, per la ventilazione.

### **Vantaggi:**

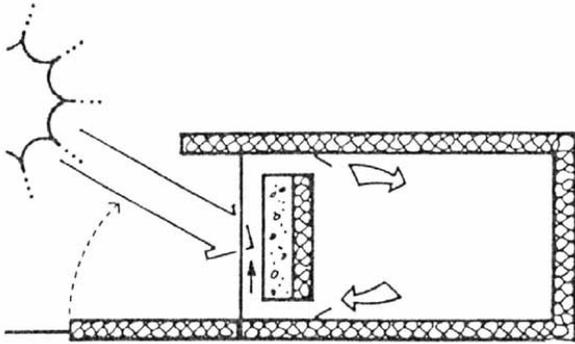
- abbagliamento, privacy e degradazione ultravioletta dei tessuti non sono un problema;
- le fluttuazioni di temperatura nello spazio abitato sono più basse rispetto a quelle di un sistema a guadagno diretto;
- il ritardo nel tempo tra assorbimento dell'energia solare e rilascio nell'ambiente dell'energia termica può essere utile per integrare disponibilità energetica e modelli occupazionali;
- il comportamento di un muro d'accumulo termico è sufficientemente conosciuto.

### **Difetti:**

- la superficie esterna del muro massivo è relativamente calda (poiché la trasmissione dell'energia attraverso il muro è lenta) e sente la vicinanza del clima esterno: ciò porta a considerevoli perdite di calore e quindi di efficienza. I controlli su menzionati possono essere costosi;
- sono richieste due pareti rivolte a sud, una vetrata e l'altra massiva, con le ovvie penalizzazioni in termini di costo e spazio impegnato;
- disagi possono essere prodotti, all'inizio e alla fine della stagione del riscaldamento, dal surriscaldamento dell'aria (nel caso del muro Trombe) durante il giorno o da una radiazione termica incontrollata proveniente dalla superficie interna del muro, durante le serate calde. Questi problemi possono essere controllati mediante la ventilazione;
- la necessità di una sufficiente massa termica deve essere mediata con i requisiti di visibilità e di illuminazione naturale dell'ambiente interno;
- il progetto del muro Trombe deve consentire l'accesso per la pulizia della superficie vetrata;

- la condensa sulla superficie vetrata può essere un problema;
- nei climi freddi, a metà inverno, quando la radiazione solare non è sufficiente per riscaldare il muro, la massa di questi sistemi può trasformarsi in un carico termico.

### Muro di accumulo isolato



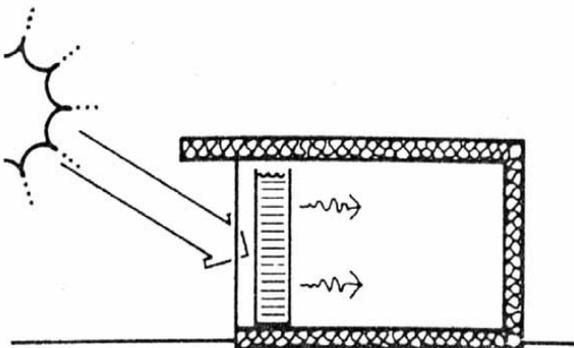
Il muro d'accumulo isolato è simile nella forma al muro Trombe, ma è coibentato sulla parete rivolta verso l'ambiente interno, per impedire la trasmissione del calore per conduzione e irraggiamento: tutto il calore è trasmesso per convezione, sia naturale che forzata.

Il comportamento di questo sistema in un clima freddo è alquanto discutibile e comunque funziona solo in presenza di un isolamento notturno.

Una variante di questo sistema ha aperture di aerazione in comunicazione con l'esterno nella parte bassa del collettore e rivolte verso lo spazio riscaldato nella parte alta: si crea così un circuito aperto a termosifone che fornisce all'ambiente aria di rinnovo preriscaldata.

### Muro d'acqua

#### Descrizione:



Il muro d'acqua è lo stesso sistema del muro massivo e Trombe con la sola differenza che l'acqua sostituisce la parete. Poiché l'acqua ha una capacità termica superiore a quella dei mattoni e del cemento e inoltre le correnti convettive al suo interno la rendono un accumulo termico quasi isoterma, il sistema può lavorare con un'efficienza maggiore rispetto al muro massivo o Trombe.

## Requisiti e varianti:

Il sistema a muro d'acqua deve avere un'ampia superficie vetrata rivolta a sud e adiacente alla parete esterna dell'accumulo.

L'acqua può essere contenuta in vari modi e il tipo di contenitore influenza la capacità dell'accumulo termico e la velocità di distribuzione del calore stoccato. Sono stati usati come contenitori bidoni stagni, bottiglie, tubi, botti, fusti, sacchetti e pareti di cemento riempite d'acqua. La scelta del materiale e della forma del contenitore è un fattore importante per l'efficienza del muro d'acqua.

## Controlli:

A causa della natura isoterma dell'acqua, la distribuzione dell'energia solare raccolta all'interno dell'accumulo è quasi immediata e ciò in netta contrapposizione con i più lunghi tempi richiesti per un muro massivo e Trombe.

Questo sistema quindi, quando progettato per un clima in cui il riscaldamento ambiente è richiesto solo nelle ore serali più fredde, può richiedere un controllo della distribuzione: in alcuni casi è necessario ricorrere ad isolamento termico tra accumulo e spazio abitato.

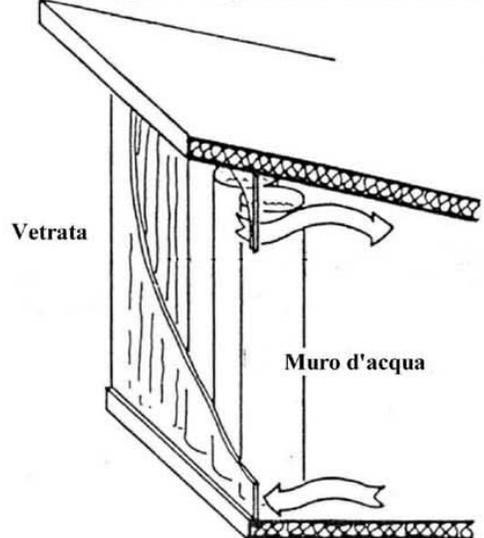
## Vantaggi:

- dato il carattere isoterma dell'accumulo, la temperatura della sua superficie esterna è ridotta e quindi minori sono le perdite di calore verso il cielo notturno e l'aria esterna;
- abbagliamento, privacy e degradazione ultravioletta dei tessuti non sono un problema;
- le fluttuazioni di temperatura nell'ambiente sono più basse rispetto agli altri sistemi a guadagno diretto o a circuito convettivo;
- l'accumulo può rimanere caldo e continuare a fornire calore all'ambiente ben oltre le ore serali;
- il comportamento di questo muro d'accumulo termico è ben conosciuto.

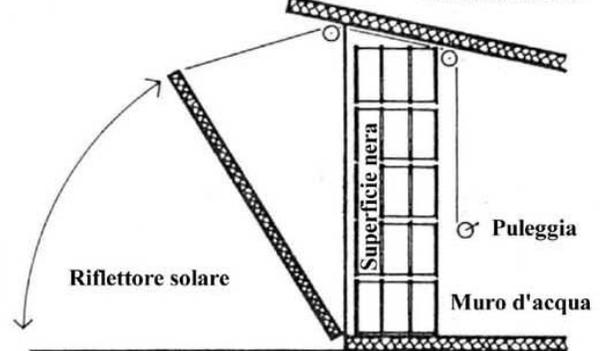
## Difetti:

- l'acqua è difficile da contenere e il controllo dell'umidità può essere un problema se il contenitore non è sigillato;

Cortina termica realizzata con tubi metallici per lo stoccaggio dell'acqua, realizzati da Kallwall Inc.



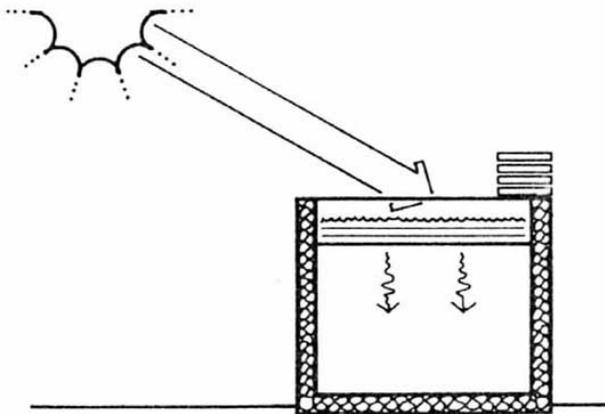
Riflettore solare e muro d'acqua realizzati da Zomeworks Inc.



- sono richieste due pareti rivolte a sud, una vetrata e l'altra massiva, con le ovvie penalizzazioni in termini di costo e spazio impegnato;
- dalla parete calda viene perduta energia verso l'esterno (l'isolamento può essere costoso e difficoltoso);
- nei climi freddi, a metà inverno, quando la radiazione solare non è sufficiente per riscaldare il muro, la presenza di questo sistema può trasformarsi in un carico termico.

## Tetto d'acqua (roof pond)

### Descrizione:



La massa termica è disposta orizzontalmente, sopra il soffitto dell'edificio. La maggior parte dei tetti ad accumulo termico usano contenitori, tipo materassino d'acqua, coprenti una parte o tutto il soffitto. L'acqua deve essere in contatto diretto con le strutture del soffitto che la sostengono, così l'energia termica viene trasmessa per conduzione attraverso il soffitto per poi riscaldare l'ambiente per irraggiamento.

Durante la notte o nei periodi di cielo coperto, un isolamento copre l'acqua calda e ne riduce le perdite di calore. L'accumulo d'acqua sul tetto può essere usato anche per il rinfrescamento estivo

### Requisiti:

E' necessario inoltre un isolamento mobile per ridurre le perdite di calore : il meccanismo per spostare l'isolamento ha un ruolo fondamentale per cui deve essere robusto e semplice.

Il tetto d'acqua può essere usato anche per raffrescare durante l'estate. L'isolamento copre l'accumulo d'acqua durante il giorno e l'acqua assorbe l'eccesso di calore proveniente dall'edificio poi, di notte, quando l'isolamento viene tolto, questo calore viene irraggiato verso il cielo notturno più freddo.

La combinazione ottimale di queste condizioni climatiche capita nelle regioni caldo-aride dove le temperature in inverno sono sempre sopra il punto di congelamento dell'acqua e d'estate il tetto d'acqua può fornire un valido aiuto al rinfrescamento naturale, in quanto l'irraggiamento notturno è favorito da un'atmosfera secca e trasparente.

## Controlli:

Una copertura trasparente sull'acqua non è stata prevista nei requisiti, comunque potrebbe essere necessaria per evitare eccessive perdite d'acqua per evaporazione.

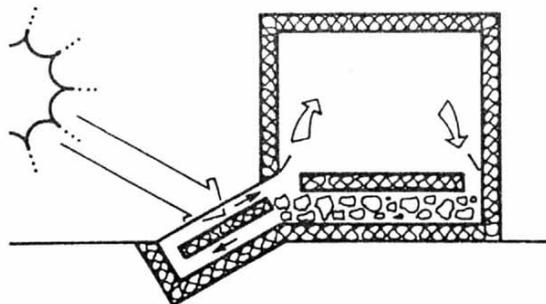
## Vantaggi:

- il tetto d'acqua è la soluzione opportuna nel giusto clima, particolarmente alle basse latitudini con climi secchi, dove è richiesto sia riscaldamento che rinfrescamento;
- il sistema permette di realizzare un microclima interno stabile ed uniformemente distribuito;
- le fluttuazioni di temperatura nell'edificio possono essere effettivamente basse;
- abbagliamento, visuale e degradazione ultravioletta non sono un problema.

## Difetti:

- il trasferimento di calore vuole che con questo sistema si possano riscaldare edifici ad un solo piano o l'ultimo piano di un edificio multipiano. Lo specchio d'acqua deve coprire almeno la metà del soffitto, se si vuole raggiungere un risparmio energetico significativo;
- la pesante massa d'acqua sopra il soffitto impone maggiori requisiti e costi strutturali e può essere psicologicamente inaccettabile, soprattutto nelle zone sismiche;
- il sistema non è valido per i climi in cui la neve è frequente;
- la bassa angolazione dei raggi solari in inverno suggerisce che il sistema non è valido per le alte latitudini, a meno che non sia inserito in un tetto inclinato, ma anche così la sua efficienza è discutibile;
- il tetto d'acqua richiede un'attenta progettazione e realizzazione.

## Guadagno isolato



In un sistema a guadagno isolato il collettore solare è termicamente isolato dagli ambienti dell'edificio. In questo sistema il trasferimento di energia è riscaldata nel collettore, diventa meno densa e si alza, richiamando aria più fredda dal basso; l'aria più calda trasferisce la sua energia all'accumulo isolato o alla stanza ed ai suoi occupanti, si raffredda e ricade verso il basso per essere ripresa dal collettore, da cui il ciclo continua fintanto che il collettore rimane sufficientemente caldo.

## Termosifone

### Descrizione:

Un collettore piano, di materiale leggero e protetto da una superficie vetrata, viene situato nella posizione più efficace ai fini del guadagno solare, ma comunque separato e sottostante l'accumulo termico. Il flusso di aria calda è spinto dalla differenza di densità tra le due colonne di aria riscaldata e fredda e l'entità del moto dipende dalla differenza tra le temperature dell'aria nel collettore e nell'accumulo e dal dislivello tra i due.

### Requisiti e varianti:

Gli elementi base di un sistema a termosifone comprendono un collettore con piastra assorbitrice ed una massa d'accumulo termico distaccata. Il calore solare è assorbito da una superficie metallica annerita, l'aria viene riscaldata e quindi si eleva naturalmente per poi entrare nell'accumulo termico. Questo calore accumulato viene poi distribuito nell'aria ambiente per convezione. La massa d'accumulo termico può essere situata sotto il pavimento dell'edificio, sotto le finestre o in elementi di tamponamento prefabbricati. La disposizione spaziale dell'edificio è meno critica per l'efficienza del sistema rispetto agli altri tipi di guadagno solare. La scelta di una superficie selettiva per l'assorbimento migliora l'efficienza del collettore, in quanto si riducono le perdite elettromagnetiche e quindi aumenta la temperatura superficiale della piastra assorbitrice.

### Controlli:

Nei sistemi a termosifone l'area di interfaccia tra collettore ed accumulo non è molto grande e quindi può essere facilmente chiusa per impedire flussi inversi dell'aria. I controlli tra accumulo e ambiente riscaldato sono sempre necessari per evitare il surriscaldamento. L'interfaccia tra la massa dell'accumulo e l'edificio determinerà la velocità con cui l'ambiente può essere riscaldato per irraggiamento e convezione.

### Vantaggi:

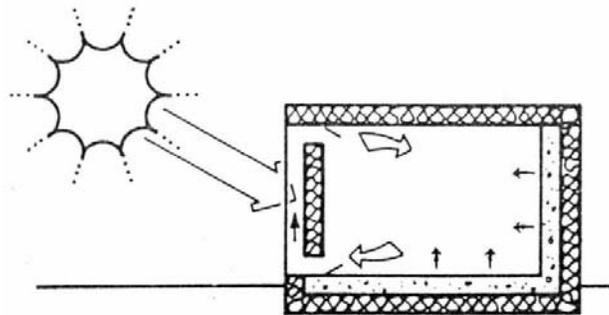
- abbagliamento, visuale e degradazione ultravioletta dei tessuti non sono un problema;
- gli anelli convettivi costituiscono uno dei sistemi più economici per fornire calore solare;
- i collettori a termosifone possono essere separati dall'edificio per ottenere il massimo guadagno solare e possono essere facilmente integrati in edifici esistenti;
- poiché il collettore è termicamente isolato dal resto dell'edificio, le perdite di calore di quest'ultimo sono minori rispetto agli altri sistemi passivi.

### Difetti:

- è richiesta un'accurata progettazione e costruzione per assicurare isolamenti e flussi dell'aria efficienti;

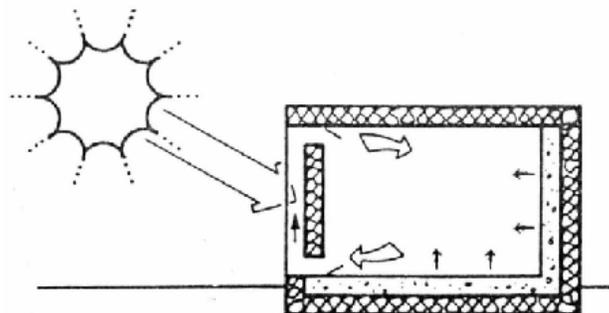
- l'energia termica è fornita con aria calda: è più difficile accumulare calore dall'aria che non dalla radiazione solare diretta;
- il collettore deve essere situato al di sotto dell'accumulo termico;
- un sistema sovradimensionato può dar luogo a temperature troppo alte nei climi caldi, soprattutto quando si usa un accumulo isolato;
- l'efficienza del sistema. quando usato con accumulo distaccato, è discutibile nei climi freddi e nuvolosi.

## Il sistema Barra-Costantini



Un particolare tipo di collettore a termosifone è stato sviluppato da O. Barra e T. Costantini nel sud dell'Italia e sembra funzionare bene in quel clima. La parete sud dell'edificio contiene un collettore di materiale leggero, protetto da una superficie vetrata e isolato rispetto all'ambiente interno con uno strato di coibentazione. L'aria riscaldata da questo collettore, circola attraverso condotti ricavati in solai, pareti e pavimenti massivi e rilascia la sua energia a questi elementi prima di ritornare al collettore. Questi elementi sono installati esternamente e forniscono calore all'ambiente per convezione e irraggiamento. Le condizioni di benessere risultano migliorate da una temperatura radiante superficiale più elevata ed uniformemente distribuita.

## Collettore a parete isolata



Il collettore a parete isolata è una semplice variante del collettore a termosifone ed è particolarmente idoneo nella ristrutturazione degli edifici esistenti. Un collettore di materiale leggero con interposta superficie vetrata è disposto verticalmente sulla parete sud di un edificio ed è isolato da esso in modo da agire come un riscaldatore d'aria istantaneo. Aperture in cima e alla base del collettore permettono all'aria riscaldata di circolare liberamente

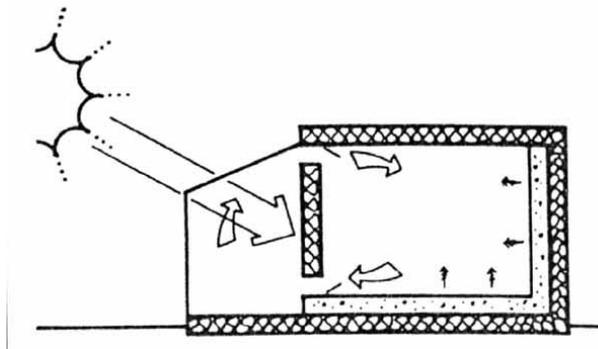
attraverso l'ambiente, lasciando ad un accumulo termico, disposto all'interno o attorno alla stanza, il compito di assorbire il calore in eccesso.

Come con i muri d'accumulo isolati, una forma alternativa di questo sistema è quella a circuito aperto per fornire aria di rinnovo preriscaldata.

## Serra solare

### Descrizione:

Una serra solare consiste di uno spazio chiuso e vetrato disposto sul lato sud di un edificio. A seconda del clima e del tipo di utilizzo della serra solare, può esserci una parete di accumulo termico che separa la serra dall'edificio, o altri accumuli termici all'interno dello spazio solare: ciò serve per normalizzare la temperatura sia nella serra che nella casa.



Normalmente la serra non viene termoregolata, per cui non è necessario fornire calore ausiliario. In molti casi la serra è utilizzata per preriscaldare l'aria di rinnovo della casa.

### Requisiti e varianti:

Per la raccolta dell'energia solare è possibile utilizzare la serra in due differenti modi.

1. La serra può agire come uno spazio non riscaldato a guadagno diretto, nel qual caso si possono introdurre delle masse, costituite da pareti in muratura e da pavimenti oppure acqua, e degli isolamenti mobili in modo che lo spazio possa essere visto come un'estensione economica della casa, da abitare il più a lungo possibile durante l'anno.
2. Alternativamente è possibile utilizzare la serra come un collettore e in questo caso si dovrà insistere su superfici leggere per poter estrarre aria più calda da inviare ad un accumulo isolato, situato all'interno o sotto l'edificio da riscaldare.

Le temperature all'interno di una serra variano fortemente, per cui non sarà opportuno viverci o crescere piante se non utilizzando opportuni controlli della radiazione solare e in ogni modo il sistema non è raccomandabile nei climi del sud Europa. Qualunque sia l'utilizzo della serra solare, è necessario che rimanga uno spazio non riscaldato se si vuole ottenere un guadagno solare senza ricorrere a sofisticati isolamenti notturni. Anche una serra distaccata può fornire aria calda all'edificio tramite ventilatori e condotti.

## Controlli:

Il sistema di distribuzione dell'energia raccolta in una serra solare sarà determinato dal tipo di clima esterno, dall'uso dello spazio solare, come collettore o come sistema a guadagno diretto, e dal tipo di collegamento tra serra e spazio abitato.

Sono necessari degli schermi per prevenire il surriscaldamento e una certa capacità di ventilazione deve essere vista come un livello minimo indispensabile di controllo.

Degli isolamenti mobili impedirebbero perdite di calore nelle notti invernali o durante le giornate coperte, ma il rapporto efficienza-costi dovrà essere attentamente esaminato. Un minimo di riscaldamento ausiliario deve essere previsto per evitare il pericolo del gelo, quando nella serra sono presenti piante ed acqua.

## Vantaggi:

- il microclima interno di una casa viene considerevolmente migliorato con l'aggiunta di un "tampone termico" tra lo spazio abitato e l'aria esterna. Una serra può coprire l'intera facciata dell'edificio, riducendo le sue perdite di calore per trasmissione e ventilazione. Le fluttuazioni di temperatura nello spazio abitato sono inferiori rispetto ad un sistema a guadagno diretto;
- la serra può servire anche per scopi non energetici: per esempio come spazio abitabile addizionale o come serra per piante;
- la serra è facilmente adattabile agli edifici esistenti;
- la serra può essere facilmente combinata con altri sistemi passivi.

## Difetti:

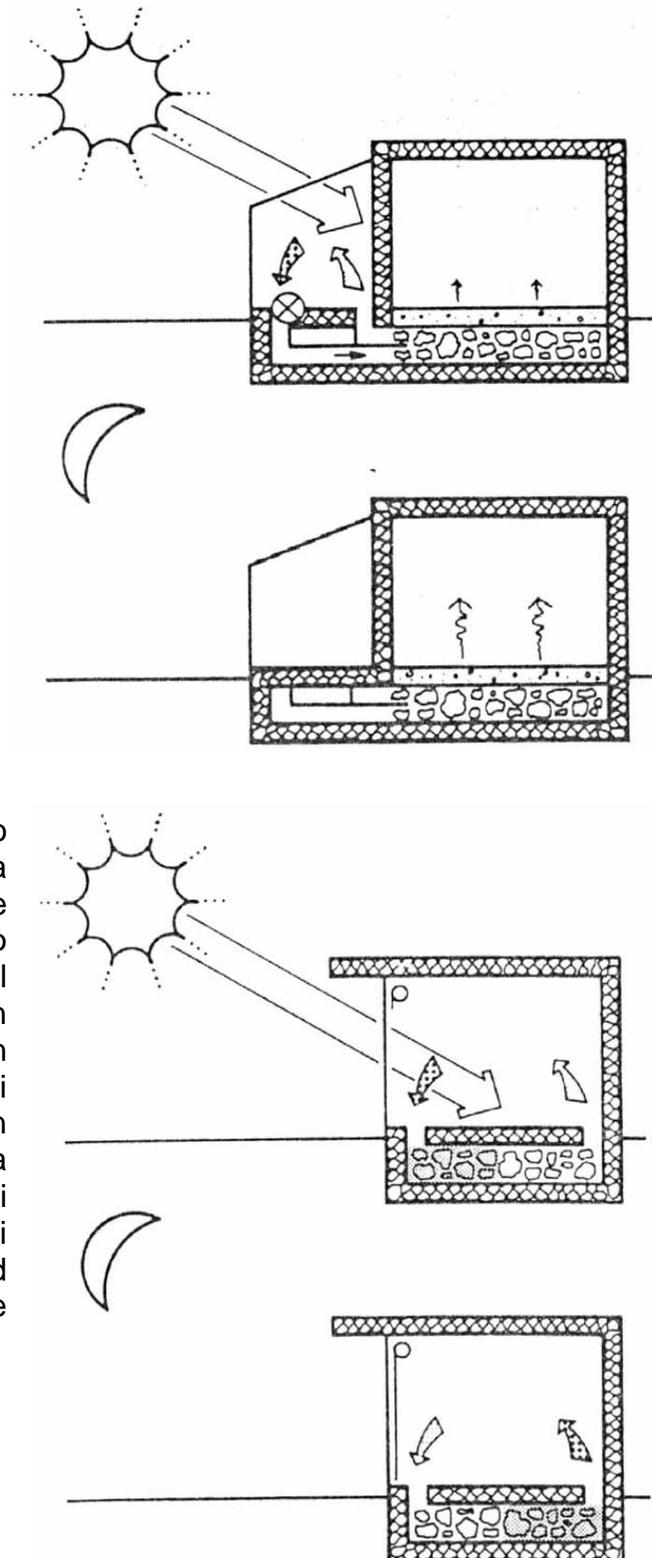
- nei climi caldi ci sono problemi di surriscaldamento in estate;
- la serra può essere soggetta a forti variazioni di temperatura;
- il soffitto a vetri della serra può produrre il rapido raffreddamento notturno di qualsiasi massa termica;
- l'energia termica è fornita alla casa come aria calda: è più difficile accumulare calore dall'aria che non dalla radiazione solare diretta;
- l'aumento di umidità causato dalle piante cresciute nella serra può produrre condensa e condizioni disagiati nella casa;
- la serra, intesa come estensione dello spazio abitato, può essere utilizzata solo per un periodo limitato durante l'anno;
- la serra può rappresentare un risparmio energetico relativamente modesto se confrontato ai suoi costi, anche se è difficile valutarne gli extracosti in quanto essa fornisce altre piacevoli.

## Sistemi a collettore ad aria

L'aria, utilizzata nei sistemi solari come mezzo di trasporto del calore, offre un certo numero di vantaggi rispetto ai collettori che usano del liquido come fluido di scambio termico. In Europa i collettori piani ad aria sono poco usati, a causa delle scarse applicazioni di impianti di riscaldamento ad aria calda, almeno nel residenziale. Comunque per i grandi edifici (scuole, uffici, industria e commercio) la ventilazione meccanica è già in uso da molto tempo e in questi casi i sistemi solari che usano l'aria per il trasporto del calore sono più interessanti, in quanto esiste già un sistema di ventilazione ed il riscaldamento di tali edifici è necessario principalmente di giorno.

### Concetti

Il concetto di un collettore ad aria è quello di far circolare dell'aria, per convezione naturale o forzata, sopra o attraverso un assorbitore della radiazione solare coperto da una superficie vetrata. Il guadagno termico risultante può essere impiegato in due modi: per il preriscaldamento dell'aria di rinnovo in un circuito aperto senza accumulo, oppure in un circuito chiuso che comprenda il sistema di distribuzione esistente. Il collegamento ad un sistema di stoccaggio, costituito nella maggioranza dei casi da un accumulo a letto di pietre, consente di ottenere più elevati fattori di utilizzo del guadagno solare di un collettore ad aria. Comunque ciò dipende molto dal clima e dal modello di utilizzo del sistema.



## Vantaggi

Confrontato con un sistema di riscaldamento convenzionale:

- risponde più velocemente se combinato con un sistema di riscaldamento ad aria diretta;
- fornisce protezione dalle condizioni climatiche esterne ed è facilmente integrabile nelle strutture dell'edificio (tetto, pareti di facciata);
- funziona come un rivestimento caldo nei periodi di basso irraggiamento solare.

Confrontato con i sistemi solari a liquido:

- facile da controllare;
- può essere integrato facilmente in sistemi di ventilazione e di riscaldamento ad aria;
- non ha problemi di gelo e di corrosione.

## Difetti

- può essere in conflitto con la richiesta di grandi aree finestrate;
- potenziali problemi di rumore prodotto dalle grandi portate d'aria;
- richiesta di maggiore energia elettrica per il funzionamento dei ventilatori;
- non si combina facilmente con i sistemi di riscaldamento ad acqua;
- i canali dell'aria sono ingombranti;
- problemi riguardanti polvere e umidità nei sistemi aperti.

## Varianti del sistema:

### Preriscaldamento dell'aria di rinnovo

Sistema diretto (circuitto aperto) o indiretto (circuitto chiuso): l'aria utilizzata per la ventilazione dei locali è immessa attraverso un collettore solare ad aria al fine di riscaldarla ad una temperatura superiore a quella dell'ambiente esterno.

## Vantaggi:

- sistema semplice;
- facile da controllare.

## Difetti:

- attivo solo quando l'edificio è ventilato.

## Riscaldamento ambiente diretto

Sistema di riscaldamento diretto (a circuito aperto): l'aria dell'ambiente interno è riscaldata in un collettore ad aria e poi rimessa nei locali.

### Vantaggi:

- sistema semplice;
- facile da controllare;
- reagisce velocemente.

## Riscaldamento ambiente indiretto

Questo sistema lavora con un circuito chiuso nel quale l'aria, riscaldata da un collettore solare, riscalda a sua volta pareti e solai che poi trasmettono calore ai locali.

### Vantaggi:

- nessun movimento di aria o aria secca.

### Difetti:

- necessità di elevate portate d'aria;
- reagisce lentamente.

## Posizionamento dei collettori

Sottotetto a collettore: il sottotetto con copertura vetrata è utilizzato come un collettore e l'aria viene distribuita mediante ventilazione forzata.

### Vantaggi:

- semplice costruzione del collettore.

### Difetti:

- richiede spazio.

## Camino solare integrato nella parete

La differenza di densità tra aria calda e fredda viene sfruttata per la circolazione naturale attraverso il collettore.

### Vantaggi:

- sistema semplice e autocontrollato;
- non necessita di energia ausiliaria.

### Difetti:

- bassa efficienza del collettore a causa delle basse portate dell'aria.

## Sistema con accumulo

Circuito chiuso con accumulo a scarico forzato: il locale è riscaldato da una parete o da un solaio radiante, direttamente collegati al collettore. L'eccesso di calore è utilizzato per caricare termicamente l'accumulo. Durante la notte o nelle giornate con cielo coperto, il calore può essere fornito dall'accumulo.

### Vantaggi:

- alto fattore di utilizzo dell'energia solare.

### Difetti:

- sistema addizionale per il trasporto di calore dall'accumulo all'ambiente;
- sistema di controllo più complesso;
- movimento di aria nell'ambiente;
- aria secca;
- problemi riguardanti la polvere.

**Sistemi di rinfrescamento**

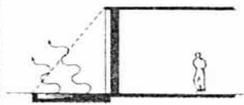
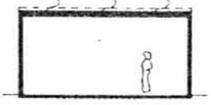
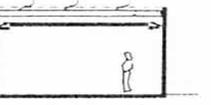
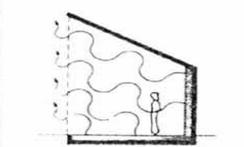
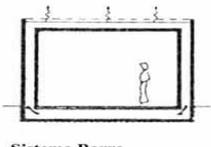
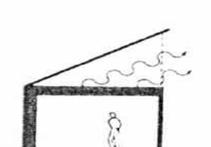
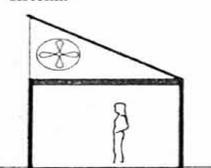
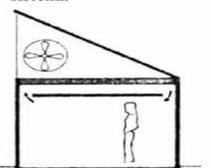
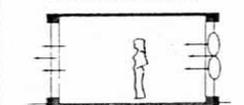
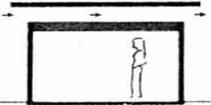
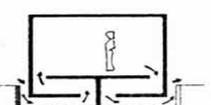
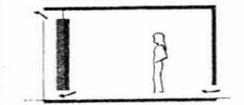
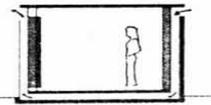
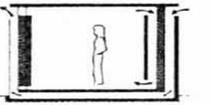
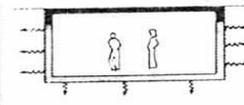
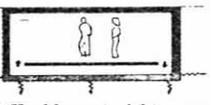
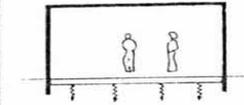
Il rinfrescamento non è un problema generalizzato in Europa, anche se nelle aree mediterranee le elevate temperature estive possono causare un disagio ambientale. Molte delle metodologie di rinfrescamento passivo di seguito elencate sono comunque già state utilizzate nelle tecniche costruttive tradizionali locali:

**Irraggiamento verso il cielo notturno:** come già descritto trattando dei tetti d'acqua, una massa termica sul tetto è esposta al cielo notturno e si raffredda per irraggiamento. Di giorno la massa fredda viene isolata sulla sua superficie esterna ed esposta all'ambiente interno per fornire un rinfrescamento sia radiativi che convettivo.

**Raffreddamento evaporativi:** in un ambiente caldo-secco l'aggiunta di umidità all'aria diminuisce la sua temperatura di bulbo secco, migliorando così il grado di benessere. Ciò può essere ottenuto spruzzando acqua in una corrente d'aria o disponendo specchi d'acqua o fontane in un cortile interno.

**Ventilazione indotta:** il sole può essere utilizzato per indurre movimenti dell'aria; con un "camino termico" si può attivare una ventilazione naturale ed aumentare il grado di benessere.

**Edificazione interrata:** la temperatura quasi costante del terreno (circa 13°C, ma dipendente dalla latitudine del luogo) durante tutto l'anno, può essere utilizzata per ridurre le perdite di calore attraverso le pareti di un edificio. Si deve comunque fare attenzione ai problemi di umidità.

	Diretti	Indiretti	Isolati
Irraggiamento notturno	 <p>Serra</p>	 <p>Tetto rinfrescante richiede isolamenti mobili</p>	 <p>Tetto isolato rinfrescante richiede isolamenti mobili</p>
	 <p>Muro raffrescante</p>	 <p>Sistema Barra costantini con tetto rinfrescante</p>	 <p>Tetto esposto a nord</p>
Convezione nell'aria	<p>Ventilazione con vento secco</p> 	<p>Il vento aumenta l'evaporazione se viene utilizzato in qualsiasi sistema</p>  <p>Tetto ombreggiato la ventola aumenta l'evaporazione</p>	<p>Il vento aumenta l'evaporazione se viene utilizzato in qualsiasi sistema</p>  <p>Tetto isolato e ombreggiato la ventola aumenta l'evaporazione</p>
	<p>Ventilazione forzata</p> 	 <p>Tetto ventilato il vento aumenta l'evaporazione</p>	 <p>Piano rigenerante</p>
	<p>Ventilazione convettiva naturale</p> 	 <p>Muro a nord la convezione aumenta l'evaporazione</p>	 <p>Muro isolato a nord la convezione aumenta l'evaporazione</p>
Condizione del terreno	 <p>Raffreddamento diretto del terreno</p>		 <p>Raffreddamento del terreno con scambiatore di calore</p>
			

**Raffreddamento essiccativo:** nei climi caldi-umidi l'utilizzo di sali che riducono l'umidità dell'aria può migliorare il grado di benessere.

Come i sistemi di riscaldamento già discussi, anche i sistemi di rinfrescamento passivo possono essere classificati nei tipi diretto, indiretto e isolato e a seconda della possibilità di disperdere l'eccesso di calore verso i seguenti tre "scarichi" alternativi: nel cielo per irraggiamento, nell'aria per convezione e nel terreno per conduzione.

### **Il marchio Minergie®**

Si tratta di un marchio, che contraddistingue edifici nuovi o risanati, i quali seguono uno specifico **standard di costruzione per un'elevata efficienza energetica**. Minergie è un marchio sostenuto dalla Confederazione, dai Cantoni e dall'economia e diffuso sull'insieme del territorio elvetico. Ci sono oggi almeno 1800 edifici (abitazioni e uffici) che seguono questo standard. Le case Minergie devono soddisfare i seguenti tre requisiti:

- Rispettare dei valori limite di consumo energetico. Questo è calcolato grazie a degli indici di consumo di energia-calore e di energia-elettricità
- Avere un impianto meccanico di ricambio dell'aria, che permetta di evitare l'arieggiamento tramite finestre. Infatti le case Minergie devono essere degli involucri a tenuta stagna e devono essere forniti di un isolamento ottimale. Aprendo le finestre si annullerebbero i vantaggi ottenuti sul piano del risparmio.
- L'investimento supplementare rispetto a un edificio tradizionale comparabile deve situarsi al 10% al massimo.

È da notare che se oltre a ciò l'edificio ha una forma compatta, la perdita di calore è tanto piccola, che per il riscaldamento dei locali basta un apporto di calore minimale. Attraverso lo standard Minergie il confort non deve affatto scendere, anzi, si ottengono tutti i vantaggi dell'aerazione tramite finestre, senza subirne gli inconvenienti, quali rumori molesti, pollini, polvere, correnti d'aria). Inoltre, utilizzando uno standard qualitativo d'avanguardia come Minergie, aumentano sia il valore dell'edificio, che il valore aggiunto per l'economia pubblica elvetica.

Ultimamente è stato introdotto in Svizzera un nuovo standard dalla Germania. Lo standard **Passivhaus** assomiglia a Minergie, ma permette di raggiungere un'efficienza ancora maggiore. Grazie allo standard Passivhaus (o **Minergie-P**, come è definito in Svizzera), è possibile rinunciare completamente a un riscaldamento centralizzato: lo sfruttamento dell'energia solare passiva e il recupero nel sistema di ventilazione del calore dell'aria viziata, permettono di avere una temperatura ideale tutto l'anno.

## L'aspetto finanziario

A lungo termine, i costi supplementari di un edificio Minergie (oggi pari a circa il 5%) possono essere più che compensati. Da un lato, infatti, questi immobili offrono una conservazione del valore superiore alla media o addirittura un incremento dello stesso. Dall'altro, il consumo energetico viene ridotto di oltre il 50% rispetto agli edifici tradizionali. Senza contare che Minergie migliora sensibilmente lo standard abitativo e la qualità di lavoro e di vita a diversi livelli. Vantaggi, questi, impagabili! Inoltre, diverse banche, favoriscono le ipoteche Minergie! Con un tasso di interesse minore rispetto degli immobili "normali".

## Risparmio dei costi energetici

Per dare una idea dei costi supplementari di costruzione di un edificio Minergie, e dei risparmi energetici dovuti alla migliore insolazione (oltre ai benefici del miglioramento della qualità di vita); prendiamo l'esempio costi di una casa monofamiliare costruita nel canton grigioni:

Anno di costruzione:	1999
Superficie energetica utile:	349 m <sup>2</sup>
Indice energetico termico:	18,4 kWh/m <sup>2</sup> all'anno
Caratteristiche:	costruzione con elementi in legno pompa di calore con riscaldamento a legna, sistema d'areazione confort.

	Standard	Minergie
Costi d'investimento	100% 712'000.- SFr	103% 732'000.- SFr
Costi energetici	100% 3'175.- SFr	18% 580.- SFr
Costi annui	100% 60'307.- SFr	94% 56'904.- SFr

Come si può notare da questa tabella, i costi di investimento di un edificio Minergie vengono appagati in pochi anni. Specialmente per le spese di riscaldamento! Ebbene, sull'arco di 80 anni, una sola "casa passiva" unifamiliare consente di risparmiare circa 200 000 litri di petrolio.

## Ipoteca

Per richiedere il certificato necessario ad accendere un'ipoteca Minergie, i piani degli architetti devono ottenere il beneplacito del servizio cantonale preposto per le questioni energetiche già durante la fase di progettazione.

Alcuni Cantoni si assumono i costi di certificazione pari a fr. 750.-. Per ulteriori informazioni si consulti il sito [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch).

## Risanamento di edifici già esistenti

Nelle nuove costruzioni, capomastro, architetto, ingegnere e proprietario possono applicare lo standard Minergie e lo standard P senza particolari salti mortali. Il potenziale di miglioramento maggiore sta però negli immobili già costruiti. I risanamenti che hanno obiettivi ambiziosi in fatto di ottimizzazione energetica sono impegnativi e dispendiosi, e nascondono innumerevoli incognite – ponti di calore come, ad esempio, travi di ferro, brecce nel tetto, muri in pietra di cava – cui non si può rimediare senza mettere mano alla struttura stessa del fabbricato. A rendere la cosa più complicata vi sono poi le norme delle autorità preposte alle costruzioni e alla protezione dei monumenti e le restrizioni imposte dal diritto di vicinato. Malgrado ciò, vi sono risanamenti di vecchie costruzioni che si avvicinano notevolmente allo standard Minergie-P, il che richiede, ovviamente, la necessità di mantenere alto il livello di qualità durante tutta la fase di cantiere. Lo sforzo viene tuttavia ripagato col maggior comfort e il minor consumo energetico.

**Fonti:**[Università degli Studi di Ferrara](#)

Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Architettura, Enrico Golfieri, Giampaolo Silvestri, Progetto di residenze con l'utilizzo di sistemi, solari passivi e di raffrescamento naturale ad Alfonsine (RA)., *Sito internet principale da cui sono state copiate e prese le informazioni di questo articolo.*

[www.wwf-si.ch](http://www.wwf-si.ch)

Progetto WWF "Il sole sul tetto". Campagna di informazione e di incentivazione dell'utilizzo dell'energia solare.

[www.umwelt-schweiz.ch](http://www.umwelt-schweiz.ch)

UFAFP – Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio

Il sole fonte di energia, E2000 Programma Energia 2000, Editore Ufficio federale dell'energia di Berna (CH)