



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Dipartimento  
di Ingegneria ed Architettura

**Ing. Carlo Antonio Stival**  
via A. Valerio 6/1  
34127 Trieste  
+390405583483  
cstival@units.it

**LEZIONE**

**9**

**29 APRILE 2020**

## **Chiusure trasparenti**

**Requisiti, soluzioni e tecnologie**

---

**A. A. 2019-2020**

Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura II**  
Corso di **Progetto di componenti edilizi**

# 9.1

---

## **Inquadramento chiusure trasparenti**

# Chiusure trasparenti

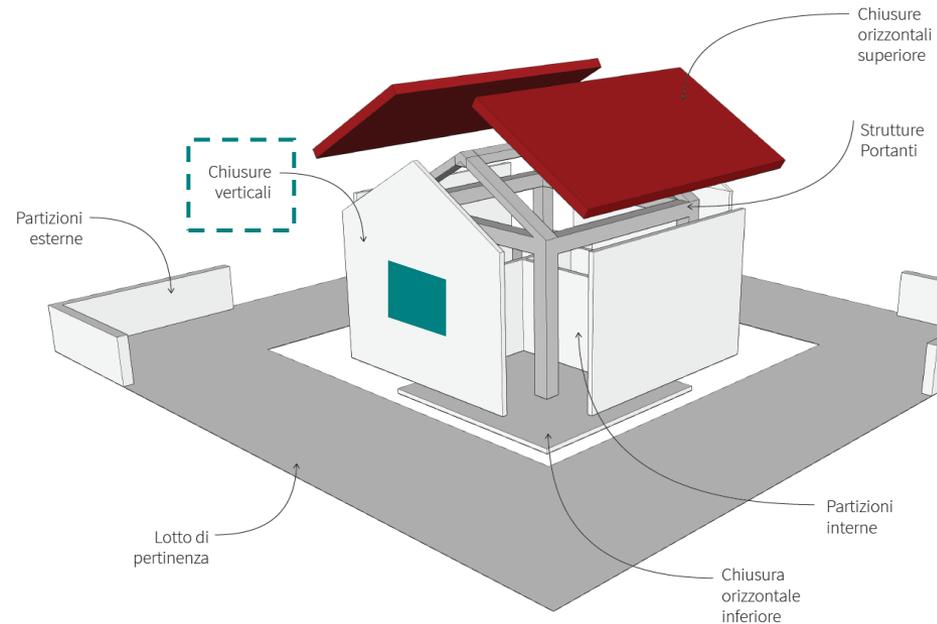
Le **chiusure trasparenti** sono **parte integrante** delle **pareti verticali perimetrali**, quindi molti dei requisiti connotanti di queste ultime devono essere considerati per gli infissi verticali.

Gli spazi in cui si articola l'edificio comunicano con l'esterno attraverso queste discontinuità (**bucature**) dimensionate secondo criteri funzionali, formali ed estetici, di comfort ambientale, per l'adeguamento a specifiche normative.

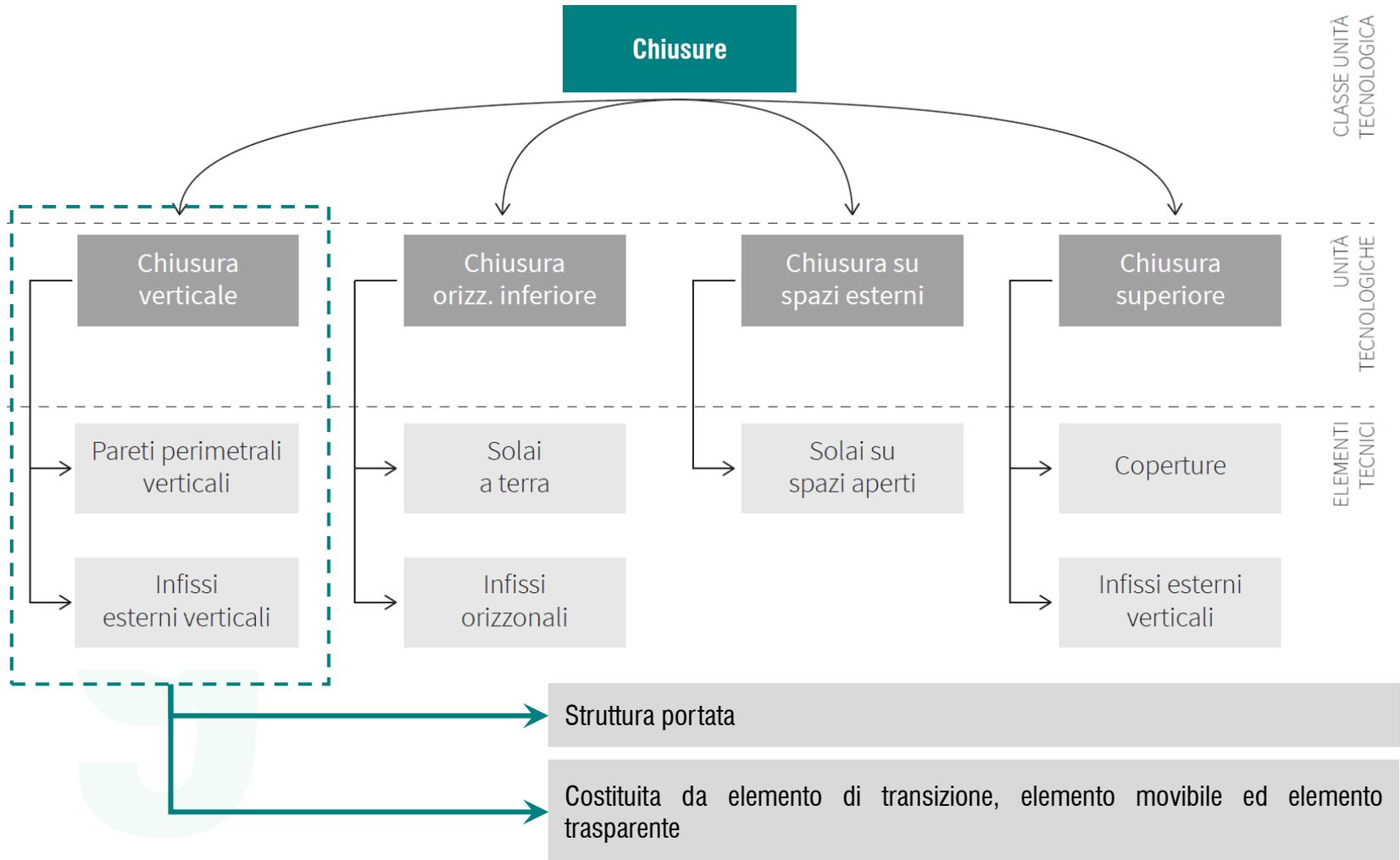
Le funzioni espletate mediante gli infissi verticali sono:

- il **controllo** degli **agenti atmosferici**; in quanto esposte direttamente all'aria esterna, devono garantire la tenuta all'acqua e all'aria in misura tale da non compromettere il comfort degli ambienti interni;
- il **controllo** degli **agenti termici** ed **igrometrici**;
- Il **ricambio d'aria** negli ambienti interni;
- l'**illuminazione naturale** degli ambienti indoor, tenendo conto dei possibili effetti di abbagliamento;

- la **riduzione** dell'**effetto** delle sorgenti di **rumore** esterne, alle quali per giacitura e posizione sono esposte.



# Chiusure orizzontali inferiori



# Requisiti tecnologici

TENUTA ALL'ARIA

TENUTA ALL'ACQUA

ISOLAMENTO TERMICO

CONTROLLO FATTORE SOLARE

CONTROLLO FLUSSO LUMINOSO

RESISTENZA AGLI AGENTI AGGRESSIVI

CONTROLLO ENERGETICO

MANUTENIBILITÀ

RIPARABILITÀ

SOSTENIBILITÀ

# Requisiti tecnologici

**ISOLAMENTO ACUSTICO**

**RESISTENZA ALLE INTRUSIONI**

**TENUTA AL VAPORE**

**CONTROLLO DELLA TRASPARENZA**

**RESISTENZA MECCANICA**

**AFFIDABILITÀ**

**FACILITÀ D'INTERVENTO**

**SOSTITUIBILITÀ**

**MANOVRABILITÀ**

**EFFICIENZA**

# 9.2

---

## **Schemi funzionali**

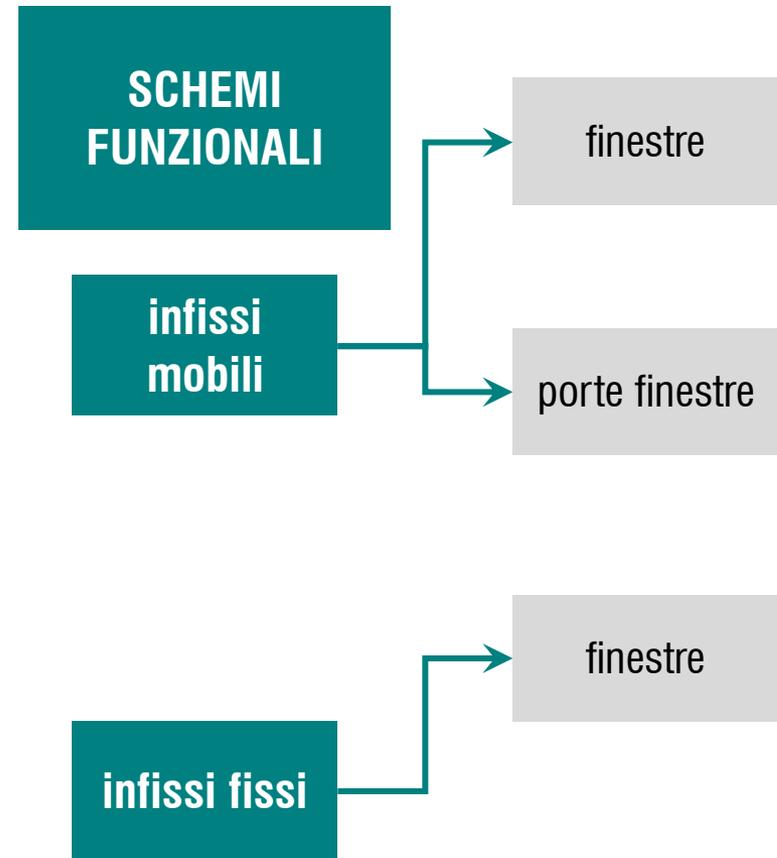
# Schemi funzionali

Il controllo della **permeabilità** delle aperture, riferita a persone, oggetti, luce, aria, nonché alla **vista** verso l'esterno, è il requisito che ha connotato l'evoluzione del serramento, con il quale si individua l'insieme di elementi tecnici che, in relazione alle prestazioni attese, costituiscono **finestre, porte-finestre e porte**.

Gli schemi funzionali individuati sono due:

- infissi **mobili** o **movibili**, che consentono il **passaggio** della **luce** ed il **passaggio dell'aria**; se di opportune dimensioni consentono il passaggio di **persone**. Sono in genere occupati da elementi tecnici che consentono la modulazione del flusso luminoso;
- infissi **fissi**, che a differenza dei precedenti non consentono il passaggio dell'aria.

I serramenti sono quindi suddivisibili in base alle dimensioni ed alla tipologia di spazi che mettono in comunicazione. Nel sistema serramento devono essere compresi anche i dispositivi di schermatura esterna.



# 9.3

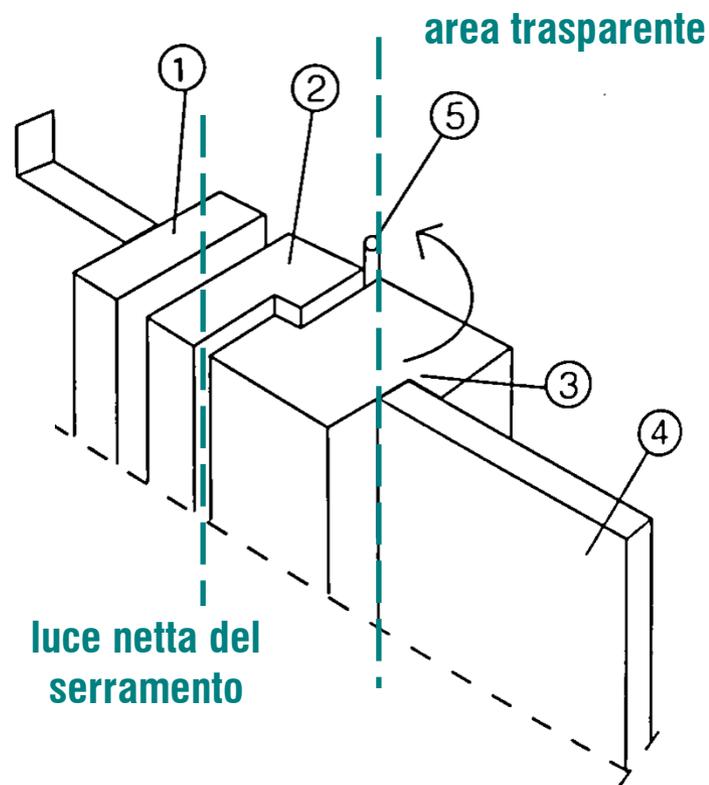
---

## **Elementi tecnici di un serramento: il telaio**

# Elementi costituenti il serramento

Le parti funzionali di un serramento sono schematicamente definibili come segue:

1. **Controtelaio**, che realizza l'interfaccia e la connessione con la parete d'inserimento e delimita la superficie pertinente al serramento. Esso è vincolato lateralmente alla muratura d'ambito;
2. **Telaio fisso**, rigidamente connesso al controtelaio, costituisce al suo perimetro esterno il vano netto del serramento (foro finestra) e configura la geometria degli elementi di tenuta con la parte mobile;
3. **Telaio mobile**, incernierato al telaio fisso e consistente nella parte mobile del serramento. L'apertura può avvenire anche per scorrimento delle ante sul telaio;
4. **Vetratura** (o specchiatura), eventualmente suddivisa in ante e, per porte-finestra, in parte sostituibile da pannelli opachi;
5. **Ferramenta**, insieme degli elementi metallici per l'articolazione e la mobilità del serramento.



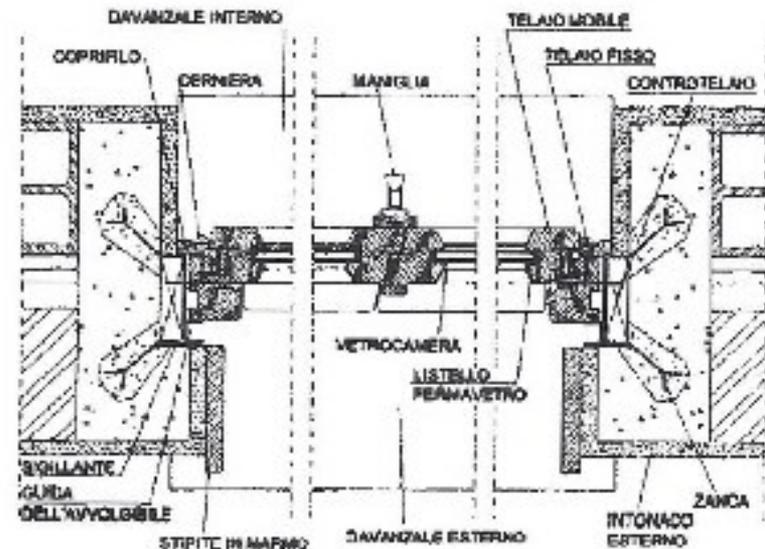
1. Controtelaio
2. Telaio fisso
3. Telaio mobile
4. Vetratura
5. Cerniera

# Elementi costituenti il serramento

Il **telaio**, oppure una delle ante del serramento, a sua volta è suddiviso in **montanti**, **traversi** superiore e inferiore; nel caso di porte-finestre può essere previsto un **traverso intermedio**.

Sono inoltre individuabili altri elementi tecnici:

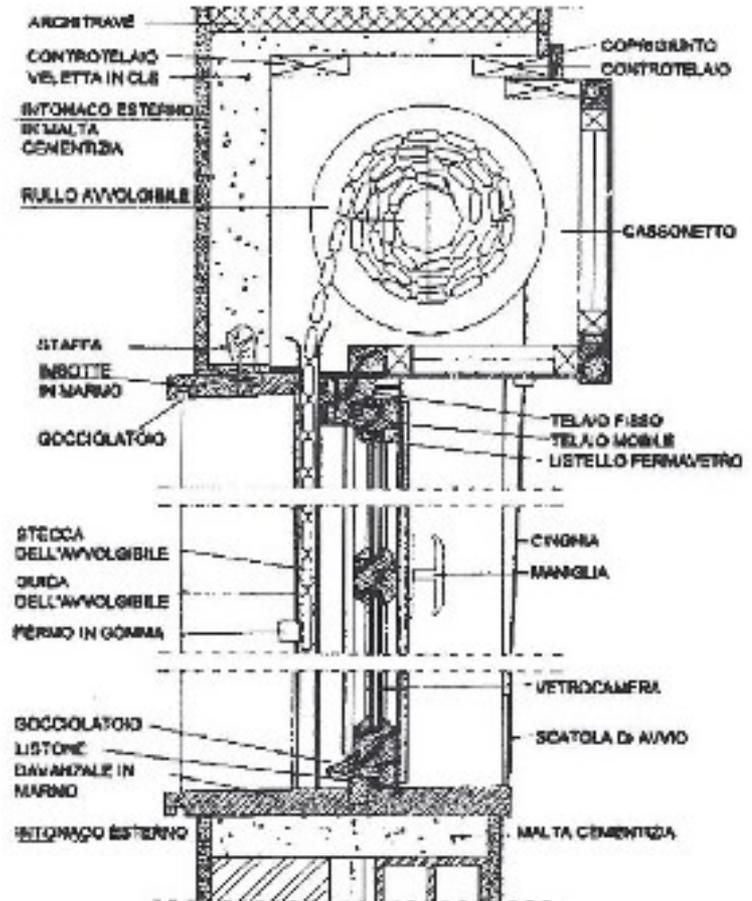
- **coprifili**, che proteggono la giunzione tra il controtelaio ed il telaio fisso;
- **battuta**, superficie a perimetro di interfaccia, ricavata per sagomatura, tra il telaio fisso ed il telaio mobile, atta a contenere le perdite per tenuta all'aria e ad ospitare le giunzioni;
- **gocciolatoio**, scanalatura o rivestimento sagomato, applicato all'elemento inferiore del telaio per il deflusso dell'acqua meteorica senza possibilità di infiltrazione all'interno del serramento;
- **guarnizioni**, elementi elastici che migliorano le prestazioni di isolamento termoacustico e di tenuta all'aria del serramento contenendone la permeabilità agli agenti atmosferici.



# Elementi costituenti il serramento

In corrispondenza del serramento è possibile definire diversi tipi di elementi tecnici di oscuramento:

- **persiana**, un'anta costituita da un telaio che ingloba una serie di lamelle inclinate e parallele, ad esso solidali; se montata esternamente al serramento può essere incernierata al telaio fisso o resa scorrevole;
- **scuro o scuretto**, anta cieca incernierata internamente sul telaio mobile per impedire l'ingresso della radiazione solare;
- **avvolgibile**, realizzato in elementi modulari in legno, plastici o metallici, collegati o incernierati tra loro, mossi da sistemi manuali o motorizzati ed alloggiati in un apposito vano (cassonetto) che sostituisce l'architrave del serramento;
- **veneziana**, insieme di lamelle installato perlopiù verso l'interno del serramento, movibili verticalmente e modulabili per inclinazione.



# Connessione alla parete verticale opaca

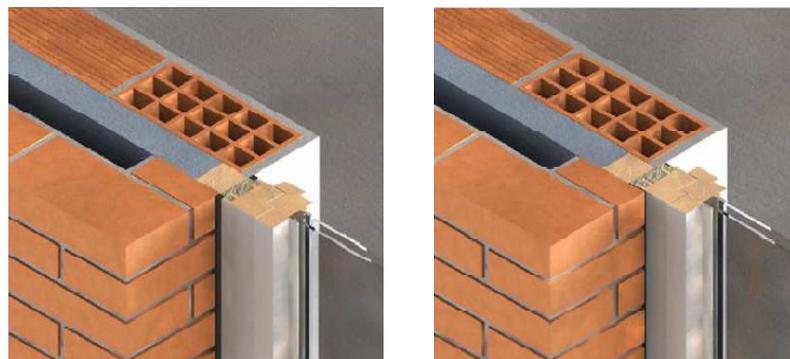
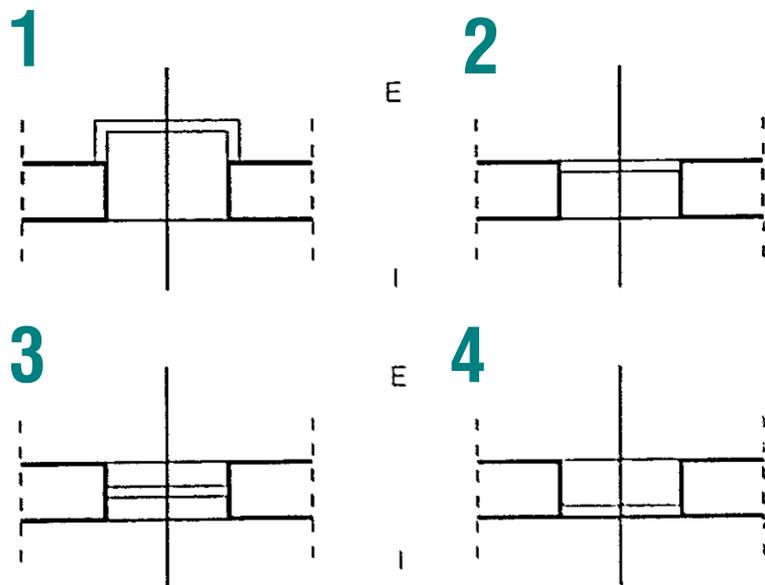
Rispetto allo spessore della parete opaca, la posizione del serramento può essere:

1. **avanzata** (serramento detto a bow-window);
2. a **filo esterno**;
3. a filo **intermedio**;
4. a filo **interno**.

Diversi sono i fattori influenzanti, o derivanti, dalla scelta del posizionamento del serramento rispetto alla parete opaca su cui si intesta:

- **presenza** di **elementi strutturali** soprastanti;
- **protezione** dagli **agenti atmosferici**;
- presenza di **sistemi oscuranti esterni** al serramento;
- **percezione visiva** della **facciata** in base all'arretramento rispetto al filo della stessa,
- quantità di **radiazione solare ricevuta** dall'ambiente e qualità dell'illuminazione naturale dei locali interni.

Particolari effetti tecnologici sono legati alla realizzazione del serramento in luce (a sinistra) o in battuta (a destra), montato dietro le mazzette del vano.

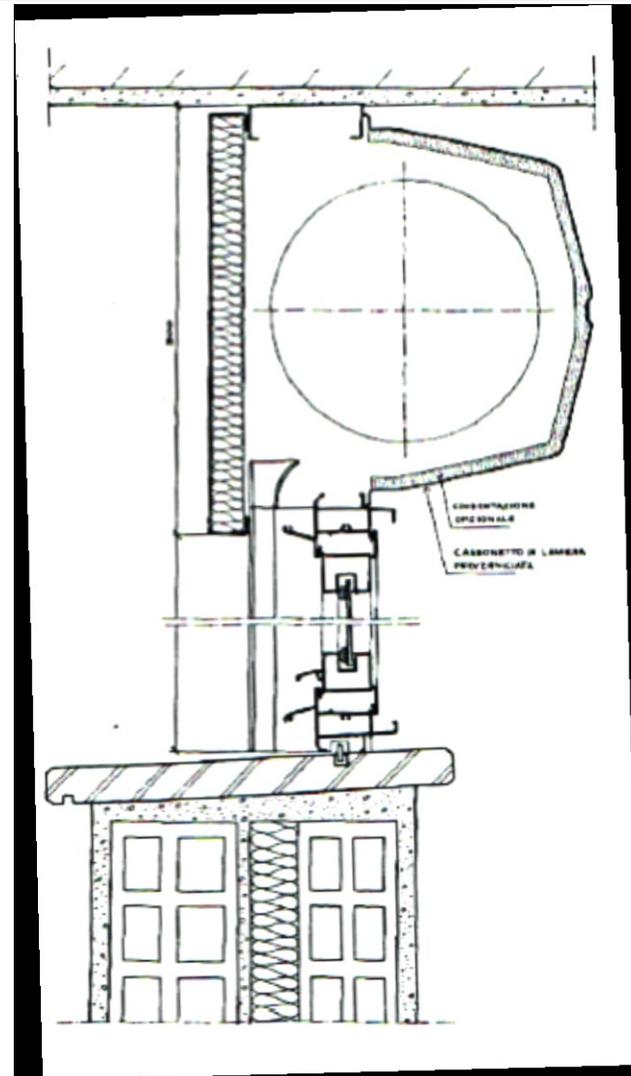


# Connessione alla parete verticale opaca

L'**architrave** costituisce l'elemento orizzontale che chiude **superiormente** il **foro finestra**, avente funzione di **sorreggere** il **pannello murario soprastante** la **bucatura**; oltre ai materiali più tradizionali (pietra, calcestruzzo, laterizio), può essere sostituito da un **cassonetto** di alloggiamento avvolgibile, protetto esternamente da una veletta.

La mazzetta, o spalletta, è lo spessore di muro corrispondente all'arretramento della finestra rispetto al filo esterno. Sono definiti stipiti le parti verticali poste lateralmente al foro finestra. Se essi non sono ortogonali al filo interno della parete, si è in presenza di uno **sguincio** (svasatura continua) o di una **strombatura** (per quantità discrete), il cui scopo è incrementare l'afflusso di luce all'interno.

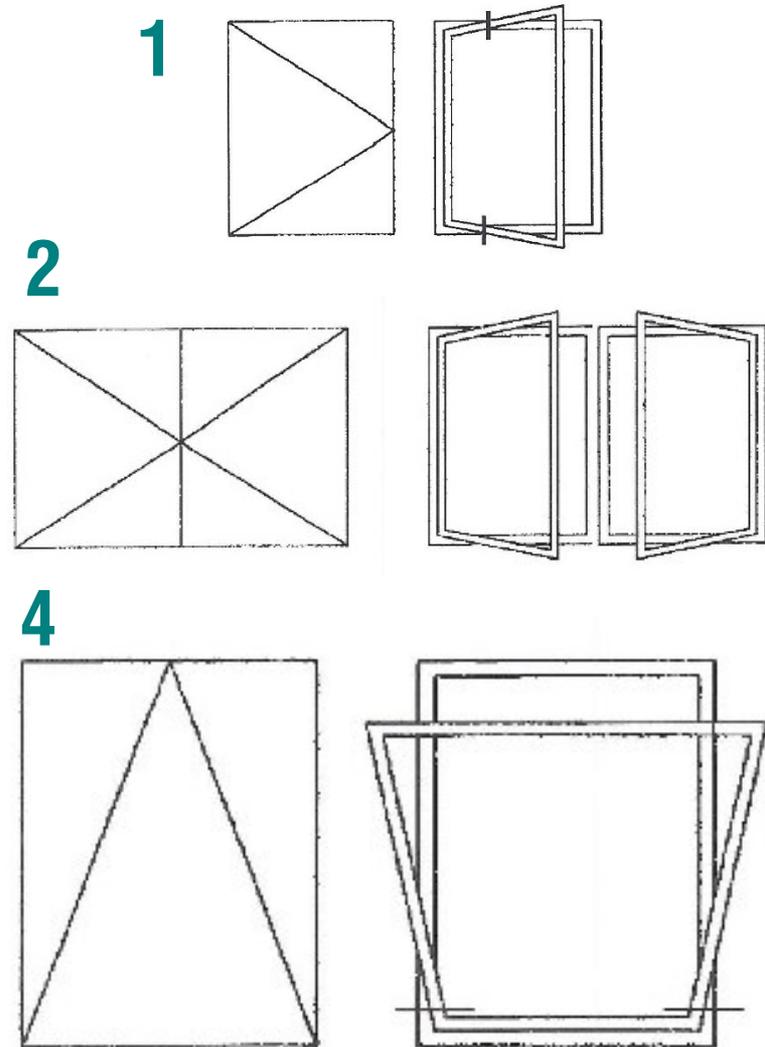
Il serramento è chiuso inferiormente da un **davanzale** (soglia nel caso di una porta) realizzabile in **pietra**, **calcestruzzo**, oppure in cotto, dotato sul bordo esterno di un **gocciolatoio** a protezione del sottofinestra.



# Modalità di apertura

Finestre e porte-finestre sono classificabili in base alla tipologia di apertura. I tipi più utilizzati sono:

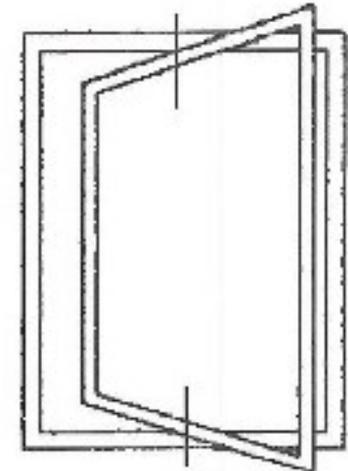
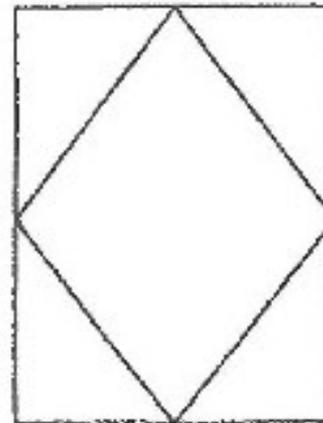
1. ad **anta unica** verso l'interno. La resistenza al carico del vento è affidata ai soli elementi di fissaggio; quando è aperto, il peso delle lastre sollecita le cerniere e, di qui, i sistemi di ancoraggio, limitando la dimensione verticale delle ante;
2. a **due ante**, o più, verso l'interno. La completa apertura delle ante risulta di notevole ingombro negli spazi interni. Eventuali sistemi di fissaggio su posizioni intermedie consentono la regolazione della ventilazione e riducono il rischio di chiusure indesiderate e violente da colpi di vento. Questa tipologia non presenta problemi di pulibilità;
3. a **ribalta superiore** incernierata, o a **visiera**;
4. a **ribalta inferiore** incernierata, o a **vasistas**. L'apertura avviene mediante sistemi di arresto, che possono rendere problematiche le operazioni di pulizia;



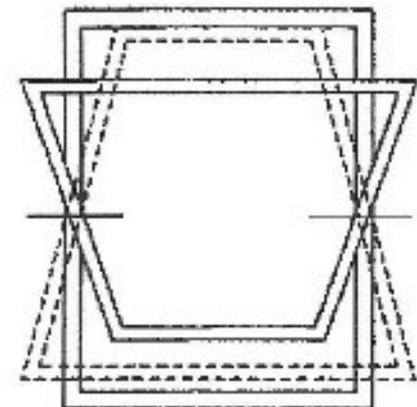
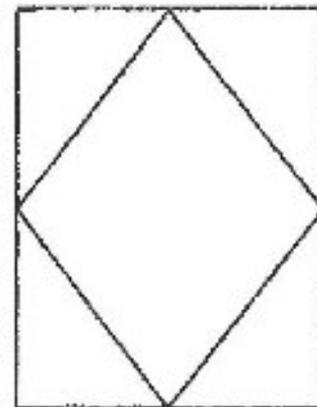
# Modalità di apertura

5. a **bilico verticale**, sistema che elimina i montanti intermedi e permette dimensioni maggiori delle ante. Il peso del serramento grava per intero sul perno inferiore; la posizione centrale dei perni rende difficoltoso l'impiego in serramenti che devono consentire il passaggio di cose o persone. La ventilazione è regolabile con difficoltà a causa dei problemi di approntamento di un fissaggio intermedio. La pulibilità del sistema è garantita dalla centralità dell'asse di rotazione verticale.
6. a **bilico orizzontale**, sistema di elevata pericolosità di esercizio, in quanto la rotazione sui perni disposti lungo l'asse orizzontale del serramento è di difficile percezione da parte dell'utente; egli deve dosare la forza di apertura, visto il possibile incollamento estivo delle guarnizioni. Tutto il peso grava sui perni che assicurano la mobilità del sistema. La ventilazione garantita dal sistema è ottimale.

5



6



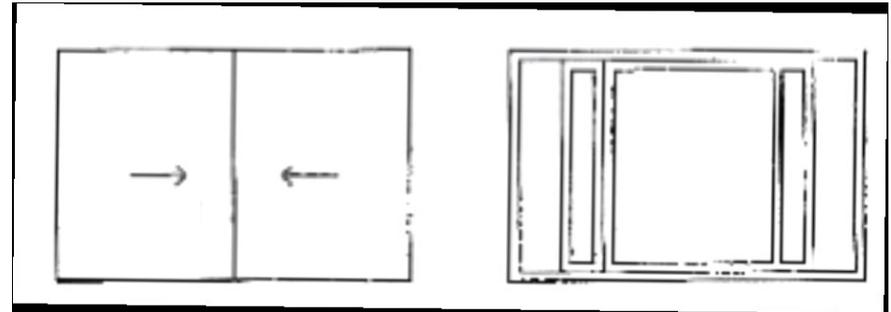
# Modalità di apertura

7. a **due ante scorrevoli**, sistema maggiormente utilizzato per porte-finestre che permette di realizzare grandi luci manovrabili. Un possibile pericolo è legato all'eventuale fuoriuscita delle ante dalle guide orizzontali, con conseguente caduta; è necessaria la periodica pulizia delle guide stesse, le quali possono rendere non agevole il movimento delle ante. Il sistema non interferisce con gli spazi abitabili in cui è installato;

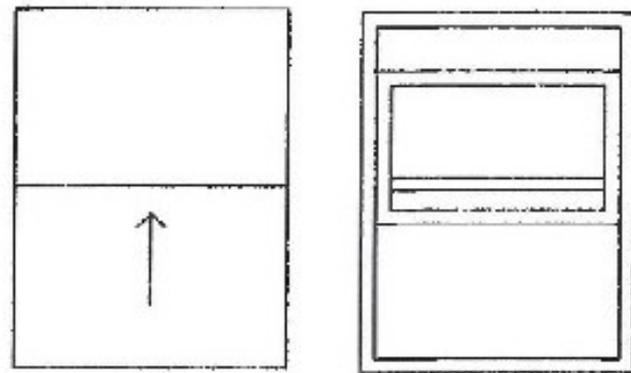
8. ad **anta scorrevole su anta fissa**;

9. ad **ante saliscendi**. Tali sistemi si presentano in tre possibili soluzioni: contrappesati (necessitano di cavi, carrucole e smorzatori di fine corsa, autobilanciati (in cui le ante movibili sono due, collegate da un cavo, per cui il movimento è sempre reciproco) e con compensatori ad attrito o a molla (ogni anta possiede un elemento che regola autonomamente la resistenza al moto). Tali sistemi sono molto pericolosi e la produzione è vietata.

7



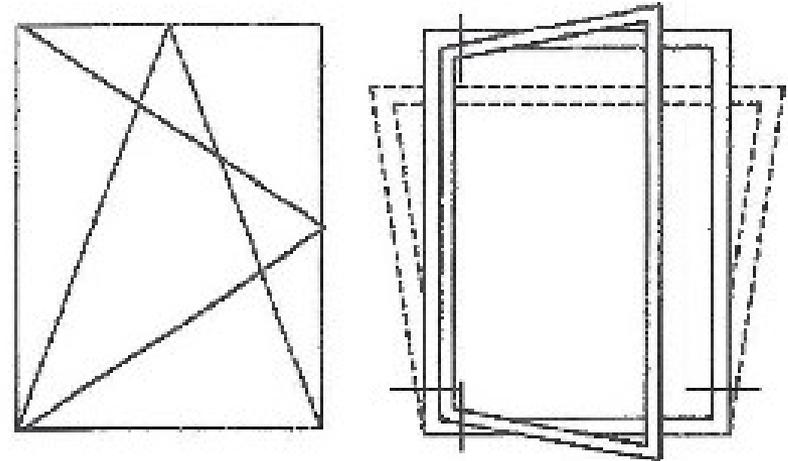
9



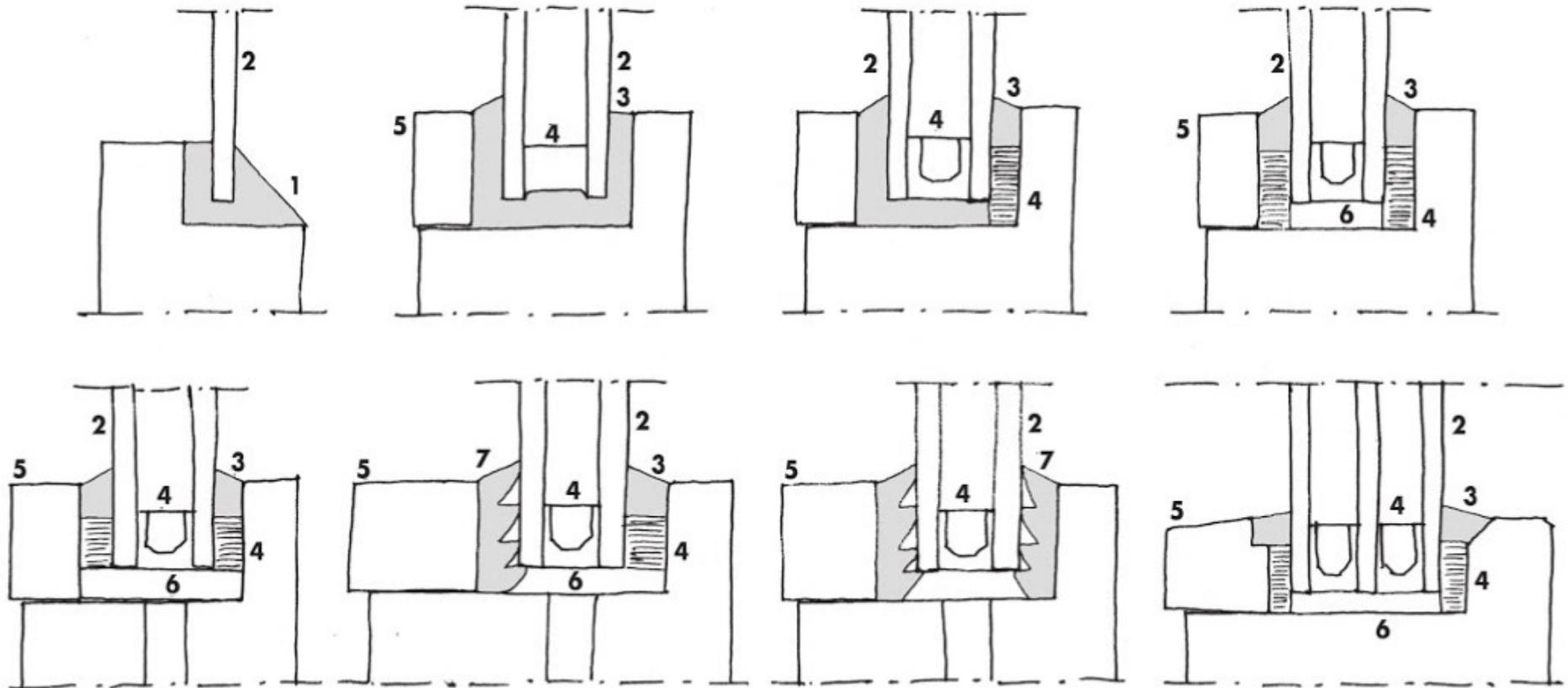
# Modalità di apertura

10. ad **anta oscillo – battente**. Il sistema permette l'apertura tanto a battente quanto a vasistas, per cui si applica a locali in cui è necessaria la ventilazione dall'alto e, contemporaneamente, debba essere garantito l'accesso a uno spazio esterno. Il sistema deve essere perfettamente bilanciato per evitare che il passaggio dall'una all'altra configurazione non possa essere equivocado, così da rendere labile il fissaggio e portare fuori sede l'anta: la manovrabilità del sistema si riduce all'aumentare delle dimensioni dell'anta. La fruibilità del sistema è massima, in quanto la luce è completamente libera e consente di avvicinarsi e sporgersi dal davanzale.

10



# Connessioni vetro - telaio



**Fig. 1.22** Tipi di giunto tra vetrazioni e telai. *Legenda: 1. sigillante costituito da mastice o stucco, avente anche funzione di coercizione strutturale del vetro; 2. lastra di vetro; 3. sigillante; 4. spaziatore; 5. fermavetro; 6. tassello distanziatore; 7. guarnizione a pressione.*

# Materiali costituenti il telaio

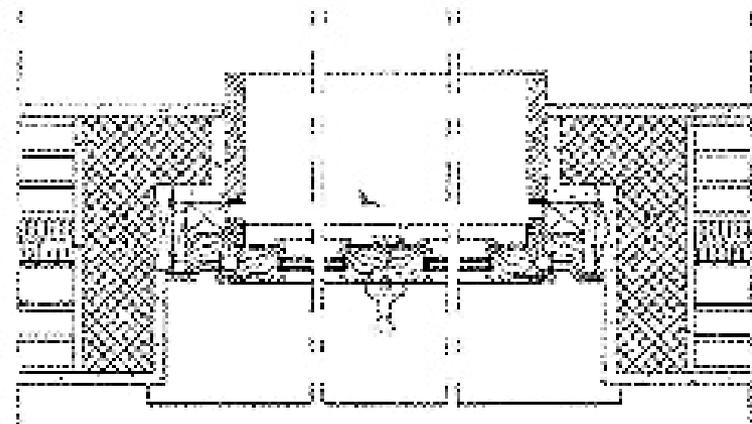
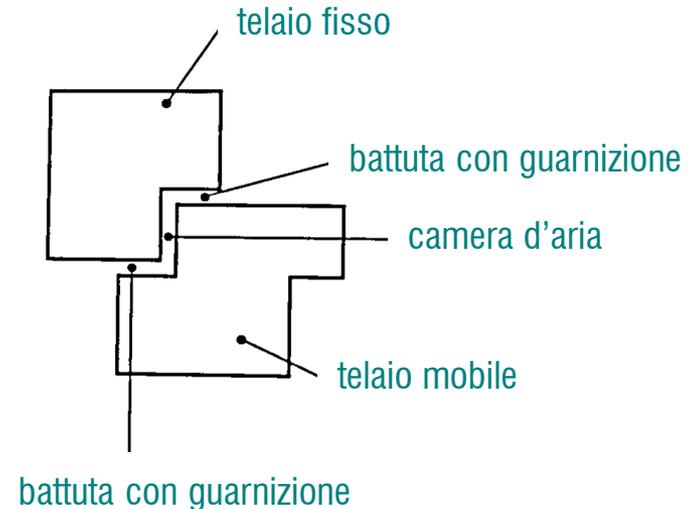
Il **legno** è stato il primo materiale impiegato per la produzione di serramenti, grazie a indiscutibili vantaggi quali il gradevole aspetto, le **trascurabili dilatazioni termiche**, la **ridotta conducibilità termica**.

La durabilità del sistema è assicurata con l'impiego di:

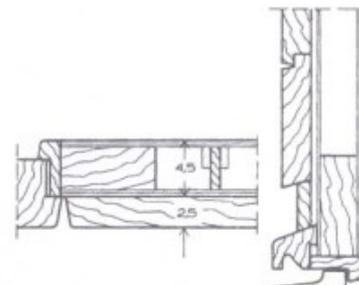
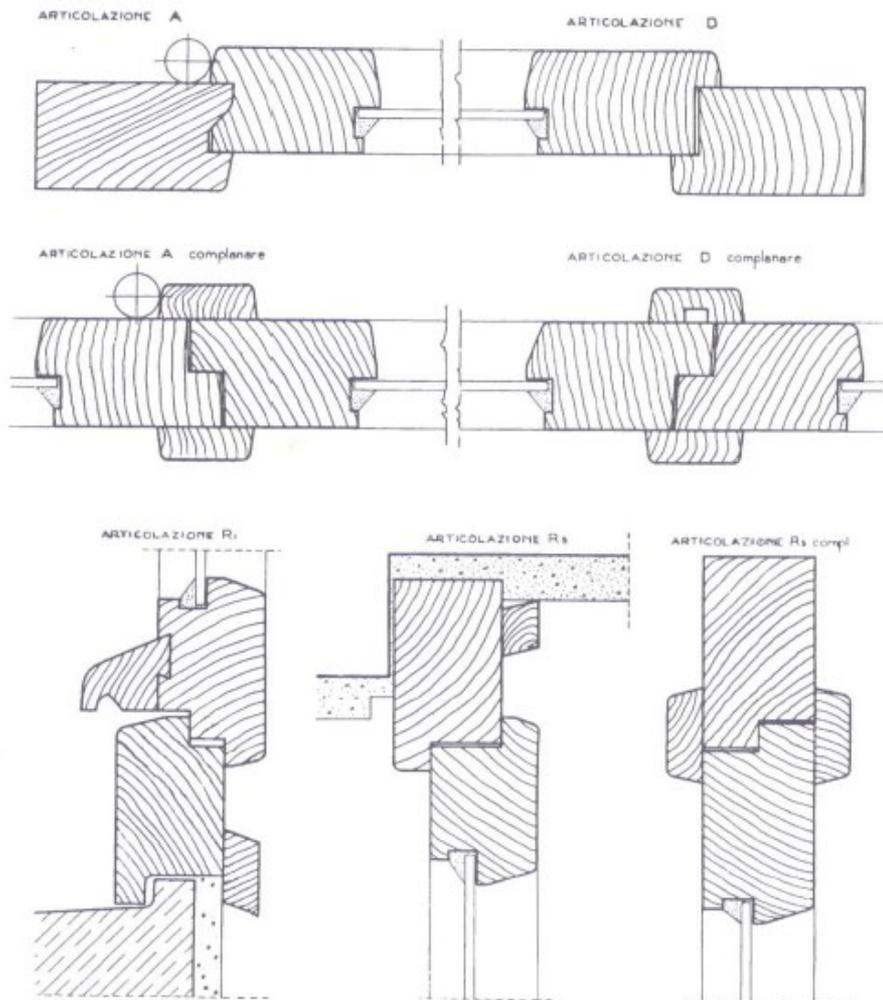
- legno con tasso di umidità non superiore al 16%;
- **sagomatura** dei **profili** che eviti l'infiltrazione d'acqua (controllo dell'aderenza tra diverse superfici);
- trattamenti idrorepellenti, ripetuti nel tempo;
- colle efficaci in condizioni di elevata umidità relativa.

La **tenuta all'aria** dei battenti è assicurata dalla geometria dei profili, che formano **battute (almeno due)** e **camere d'aria (almeno una)**, e ad eventuali profili coprigiunto. Il contatto tra i punti di battuta è migliorato con guarnizioni in gomma.

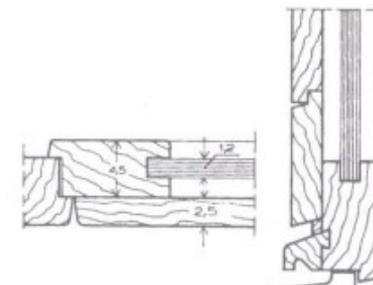
La tenuta dei giunti tra telaio e parete è assicurata dalla realizzazione di mazzette, per i profili verticali; sul piano d'intesta, è opportuno realizzare due diverse piane, interna ed esterna, ai fini dell'isolamento acustico.



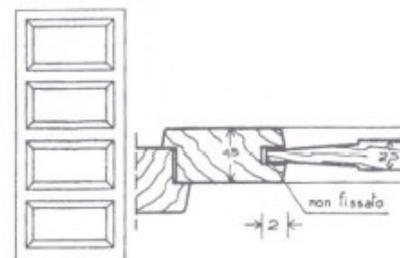
# Materiali costituenti il telaio



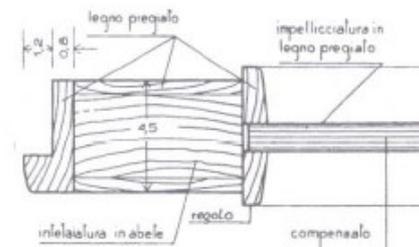
porta con esterno tavolato e interno tamburato.



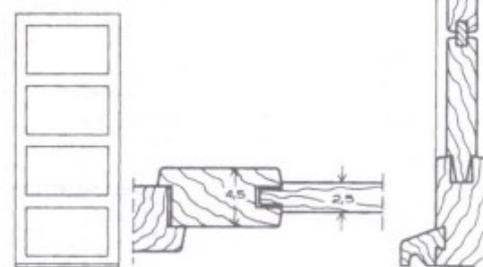
porta con esterno tavolato e interno specchiato in truciolato



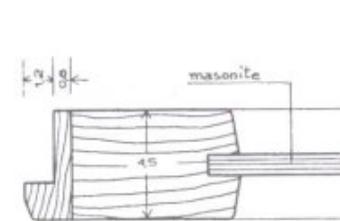
porta specchiata con fondi a massello.



porta specchiata con fondi in compensato e regoli.



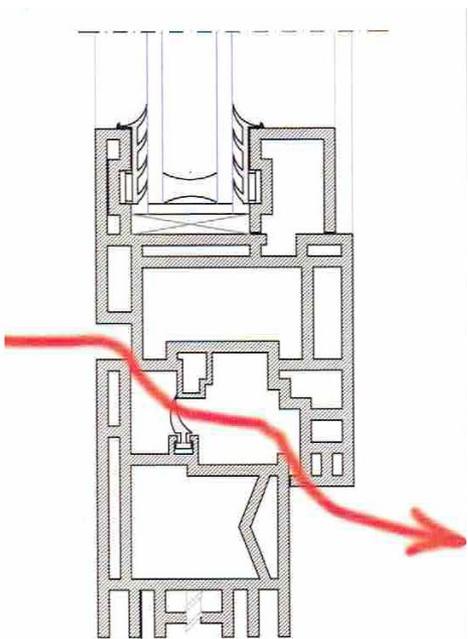
porta specchiata con fondi a doghe orizzontali.



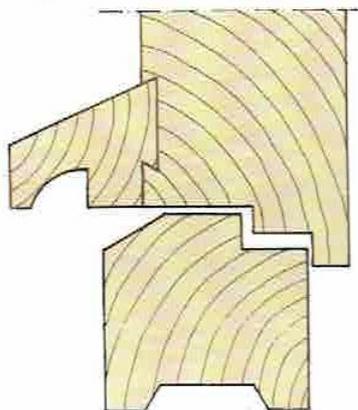
porta specchiata con fondi in masonite.

# Tenuta all'aria

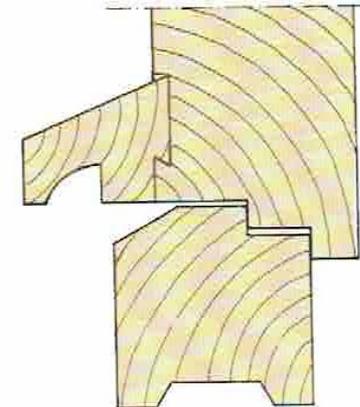
Un involucro edilizio fortemente soggetto a infiltrazioni vede l'anello debole nella **tenuta all'aria dei serramenti**. Nel caso di serramenti esistenti, oltre alla sostituzione, può esserne valutato il **recupero** con miglioramento della tenuta all'aria, che è valutata pesando le **prestazioni dell'interfaccia telaio fisso-controtelaio** e del **perimetro apribile**.



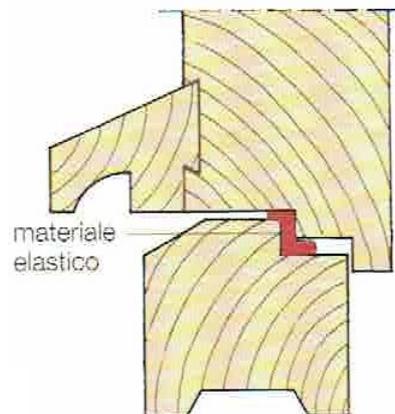
CONDIZIONI ANTE-OPERAM



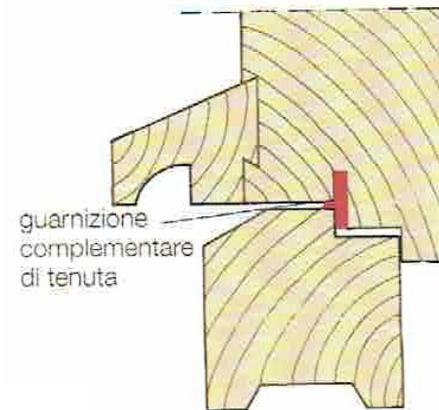
CONDIZIONI ANTE-OPERAM



CONDIZIONI POST-OPERAM



CONDIZIONI POST-OPERAM

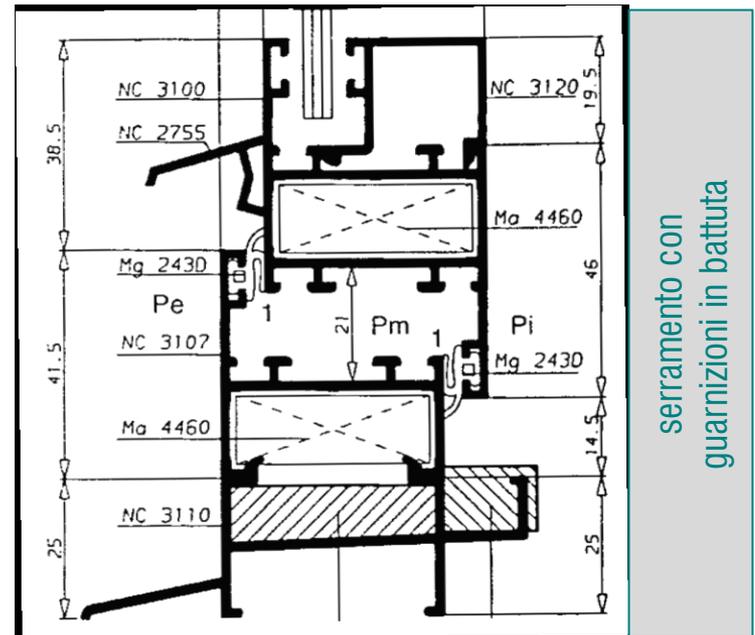
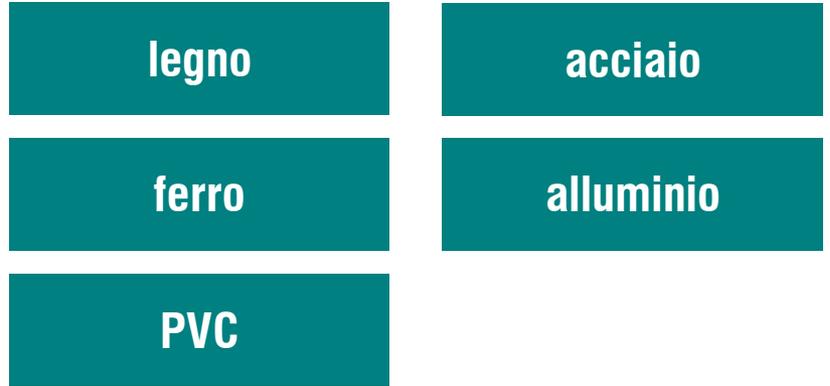


# Materiali costituenti il telaio

A partire dal 1930 circa è iniziato l'impiego dell'**acciaio** per la realizzazione di **telai** per **serramenti**: ad esempio, la società ILVA iniziò a produrre **profili a caldo** speciali che potevano essere tagliati e saldati in opera per realizzare sistemi in grado di **sostituire** i componenti del **telaio ligneo**.

La scarsa tenuta dei giunti ha portato, nel Secondo Dopoguerra, alla produzione di **profili tubolari** che indussero una notevole **riduzione del peso** dei serramenti, ed una conseguente riduzione delle operazioni in cantiere (produzione di **sistemi monoblocco**).

Al periodo tra le due guerre si ascrivono anche i primi esempi di **profilati in alluminio**, inizialmente poco diffusi. La produzione commerciale iniziò, in Italia, alla fine degli Anni '50, alla ricerca di sistemi per il miglioramento della tenuta: agli anni '60 risale l'introduzione delle prime guarnizioni in PVC per la realizzazione di serramenti in battuta.

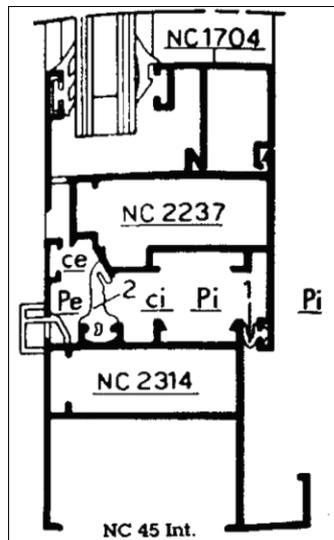


# Materiali costituenti il telaio

Di particolare interesse è la produzione, a fine degli Anni '80, del **serramento a giunto aperto**, in cui la tenuta è affidata ad una **guarnizione centrale** che si flette e s'appoggia ad una porzione di profilo inclinata presente nell'anta mobile. Tanto maggiore è la pressione esercitata dal vento, tanto maggiore è la forza di adesione e la conseguente tenuta all'aria.

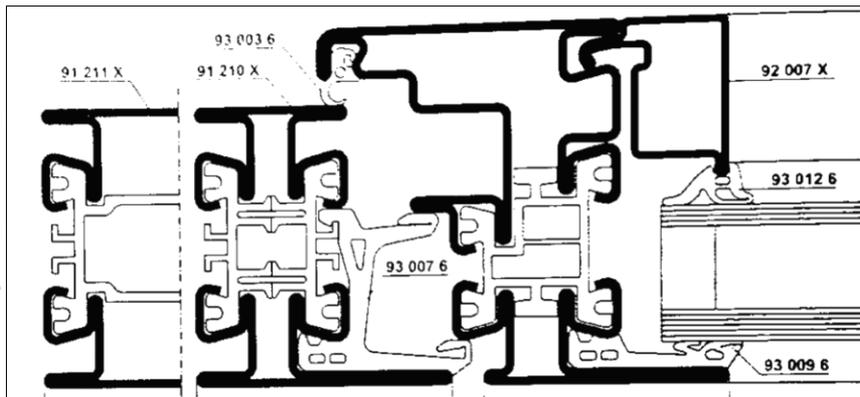
L'ultima generazione di serramenti è quella cosiddetta a **taglio termico**, che supera l'inconveniente legato all'elevata conducibilità termica dei metalli: la parzializzazione dei profili metallici interrompe il flusso termico con materiale a ridotta conducibilità, ad esempio **poliammide con fibre di vetro**.

Produzioni recenti sono basate su **profili composti** in **alluminio-legno**, a rischio condensazione sulle superfici di transizione, e sistemi misti con telaio mobile in legno e telaio fisso in alluminio. Analoghi alle soluzioni viste sono i serramenti in PVC, da superfici lisce, resistenti, saldate a piastra calda in corrispondenza degli angoli.



Serramento a giunto aperto

Serramento a taglio termico



# Materiali costituenti il telaio

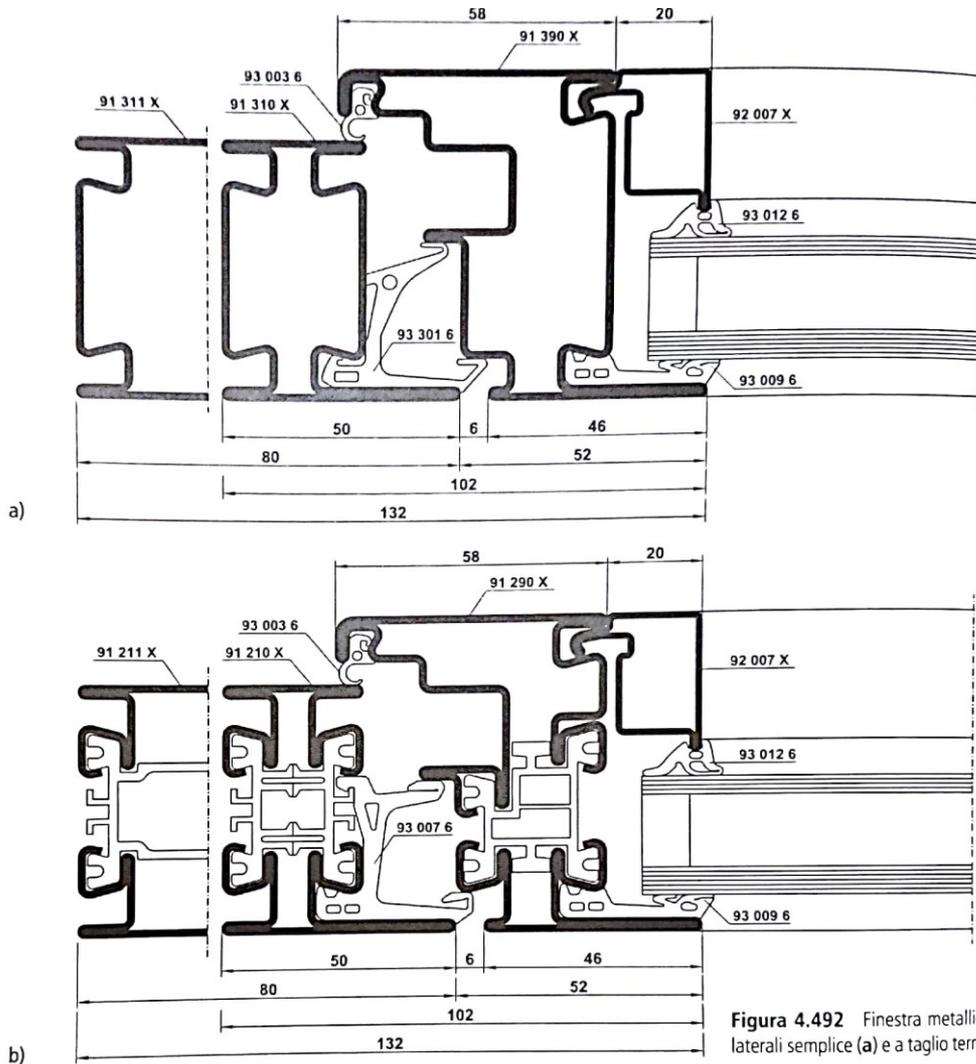


Figura 4.492 Finestra metallica: nodi laterali semplice (a) e a taglio termico (b).

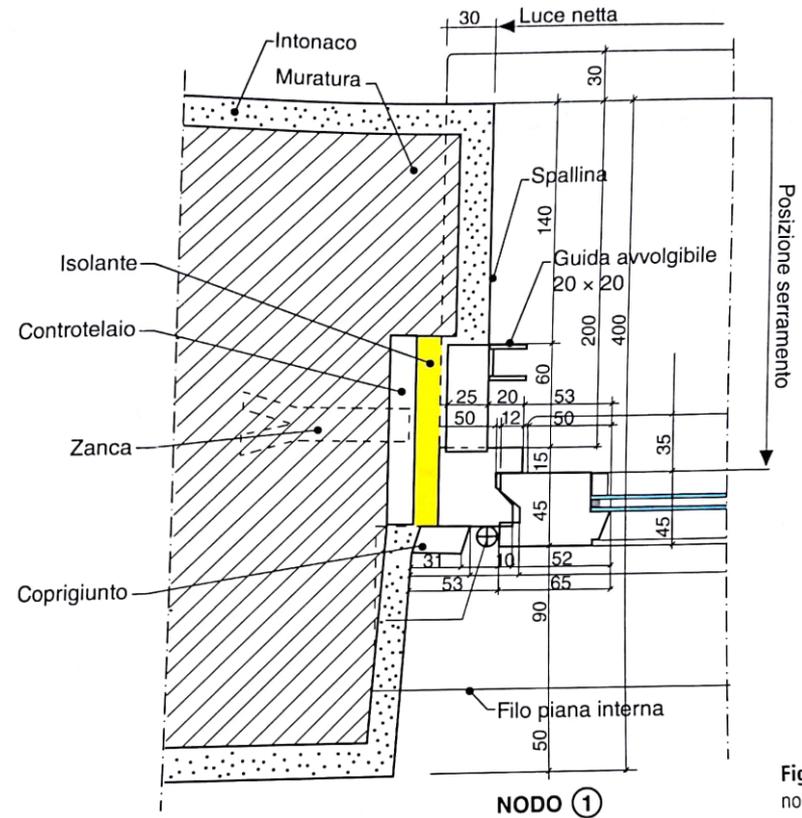
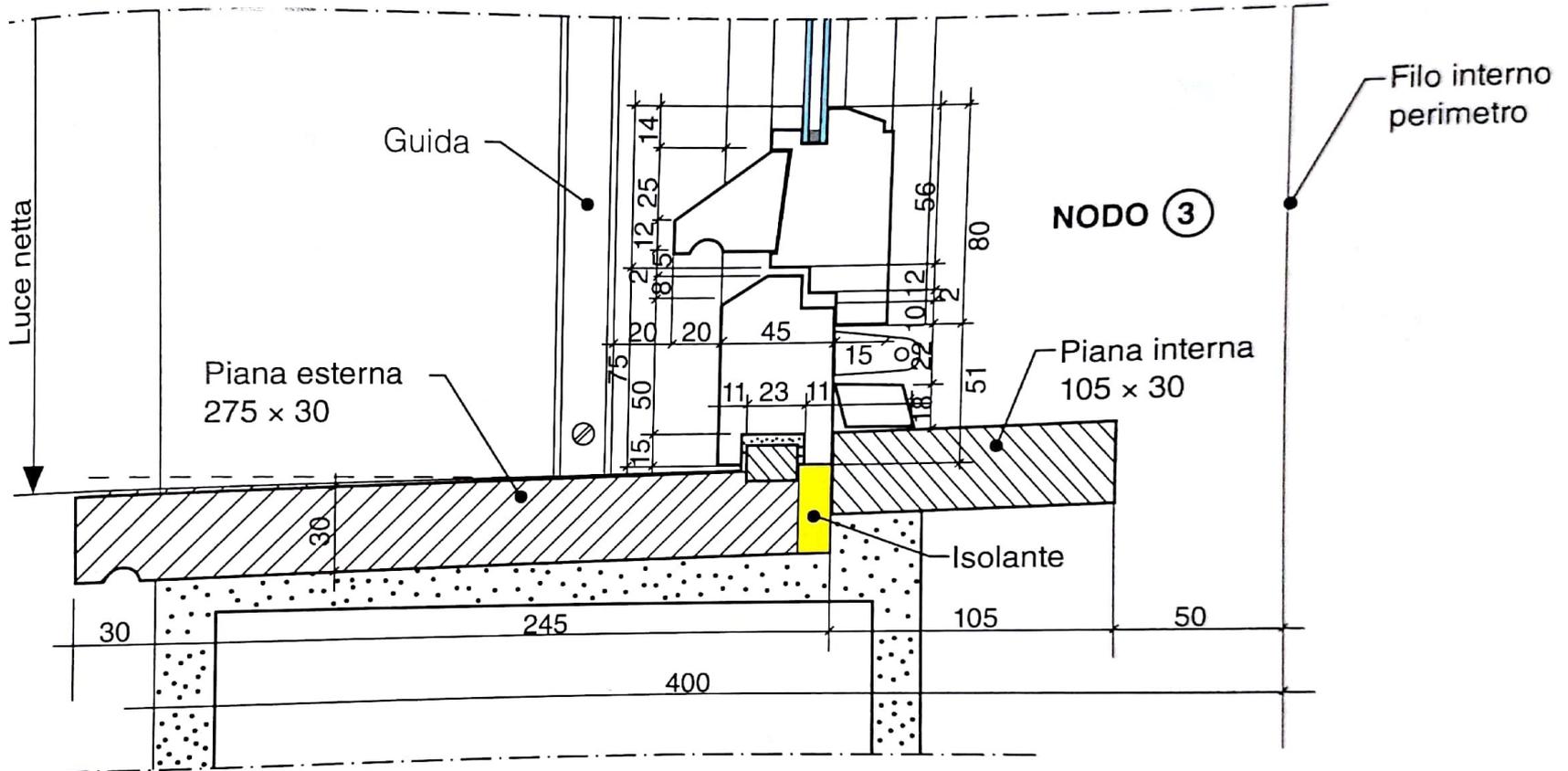
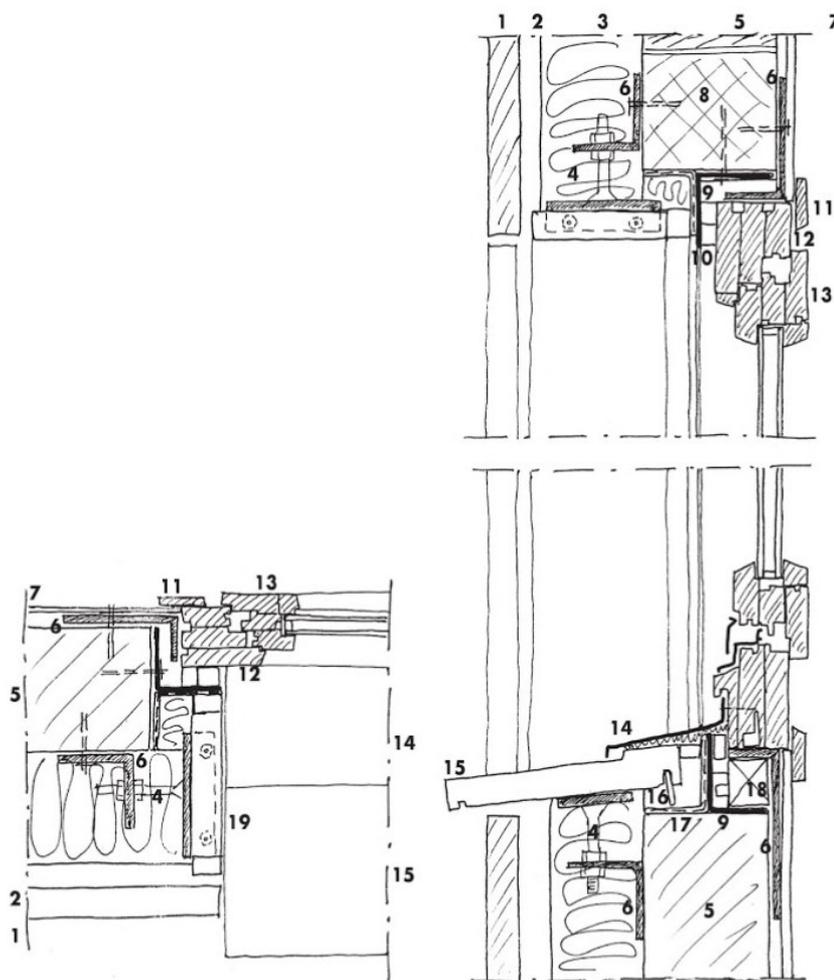


Figura nodo ii

# Materiali costituenti il telaio



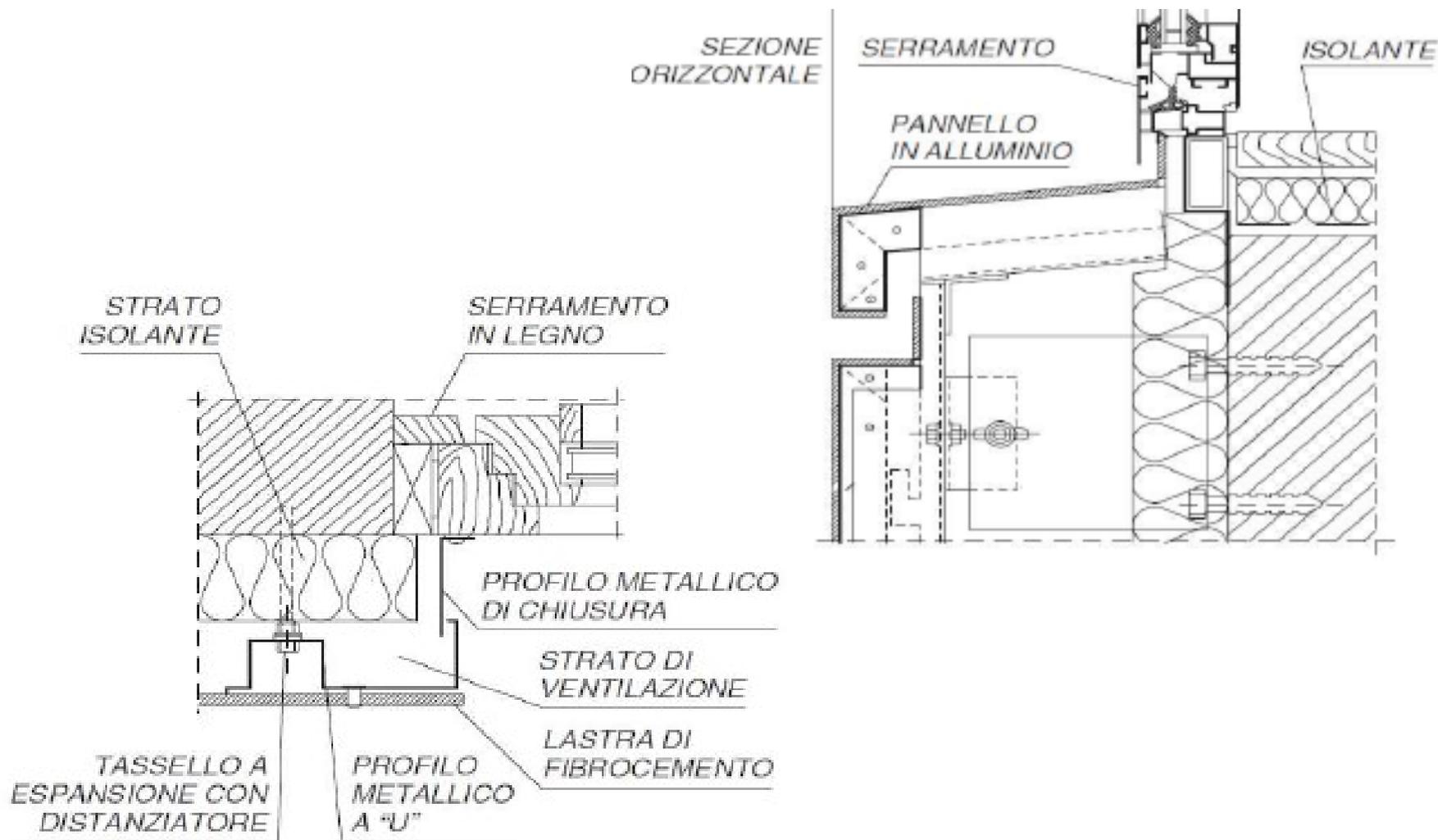
# Materiali costituenti il telaio



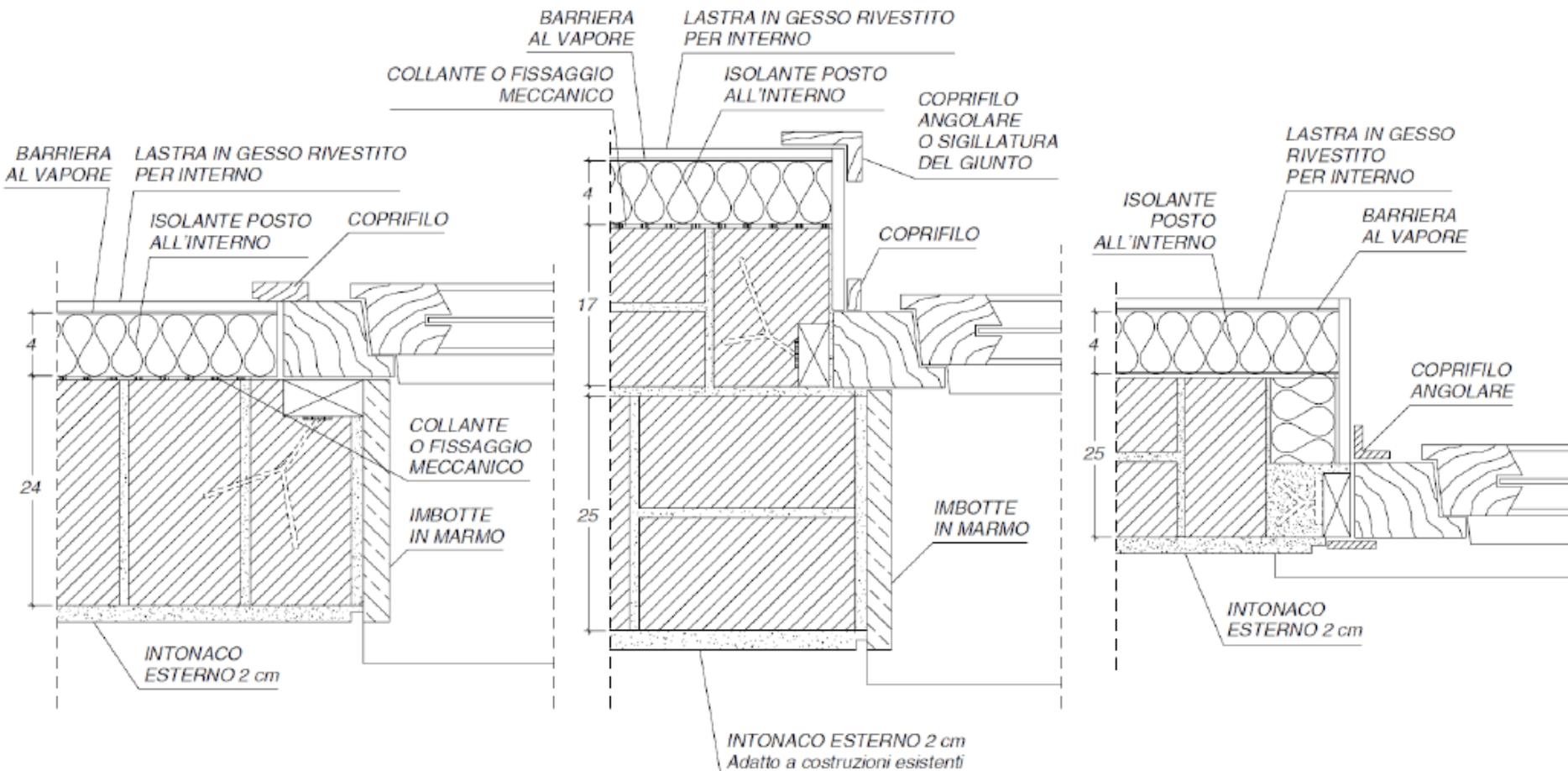
**Fig. 2.27** Sezioni di una finestra in legno lamellare inserita nel vano di una parete microventilata e finita a secco.

Legenda: **1.** lastra di chiusura; **2.** cavità microventilata; **3.** termoisolante; **4.** staffa in acciaio; **5.** parete a massa; **6.** angolare in acciaio; **7.** lastra in gesso rivestito; **8.** architrave in c.a.; **9.** profilato in acciaio lavorato a freddo; **10.** sigillatura su sottofondo; **11.** coprifilo; **12.** telaio fisso; **13.** telaio mobile; **14.** scossalina; **15.** davanzale; **16.** listello di ottone o altro materiale resistente alla corrosione elettrolitica; **17.** scossalina interna; **18.** controtelaio in legno; **19.** lastra di rivestimento dell'imbotte.

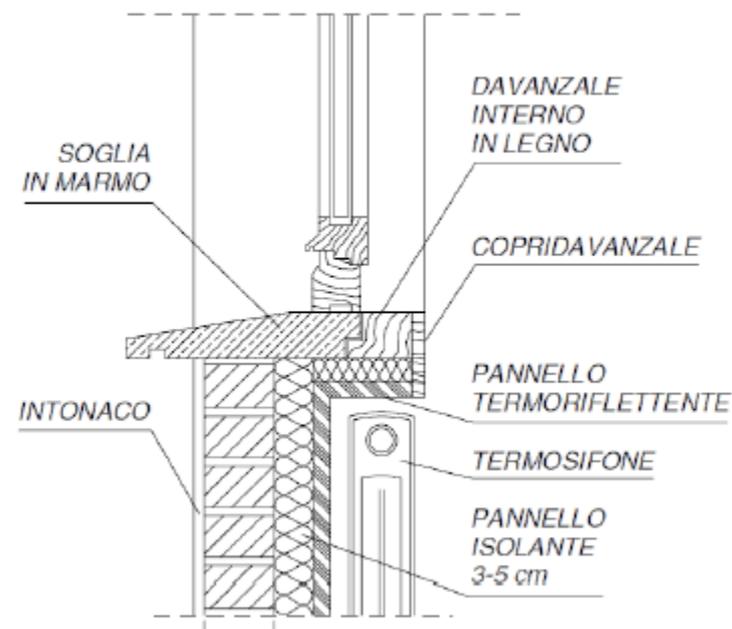
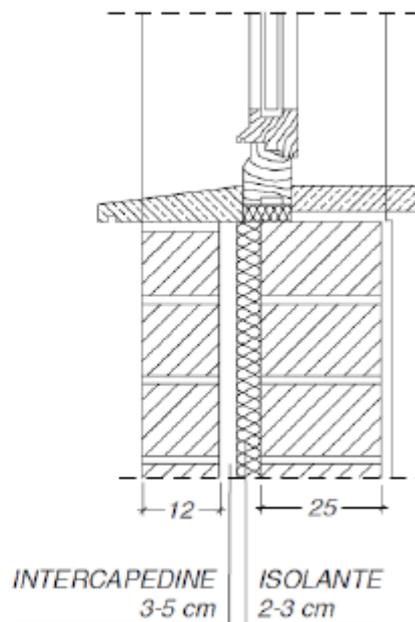
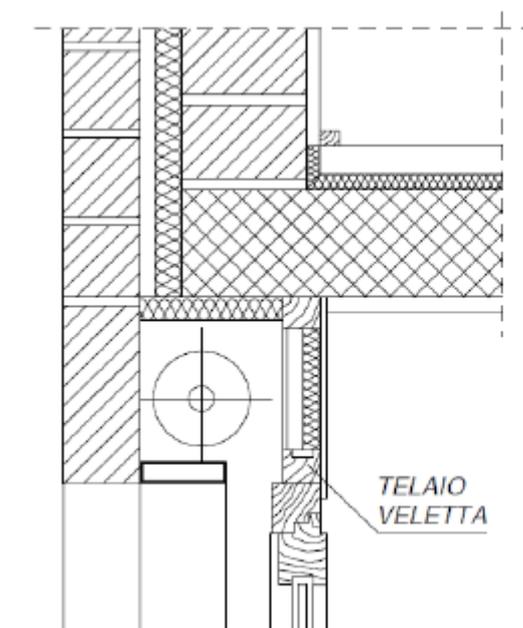
# Continuità della coibentazione



# Continuità della coibentazione



# Continuità della coibentazione



# 9.4

---

## **Vetro per chiusure trasparenti**

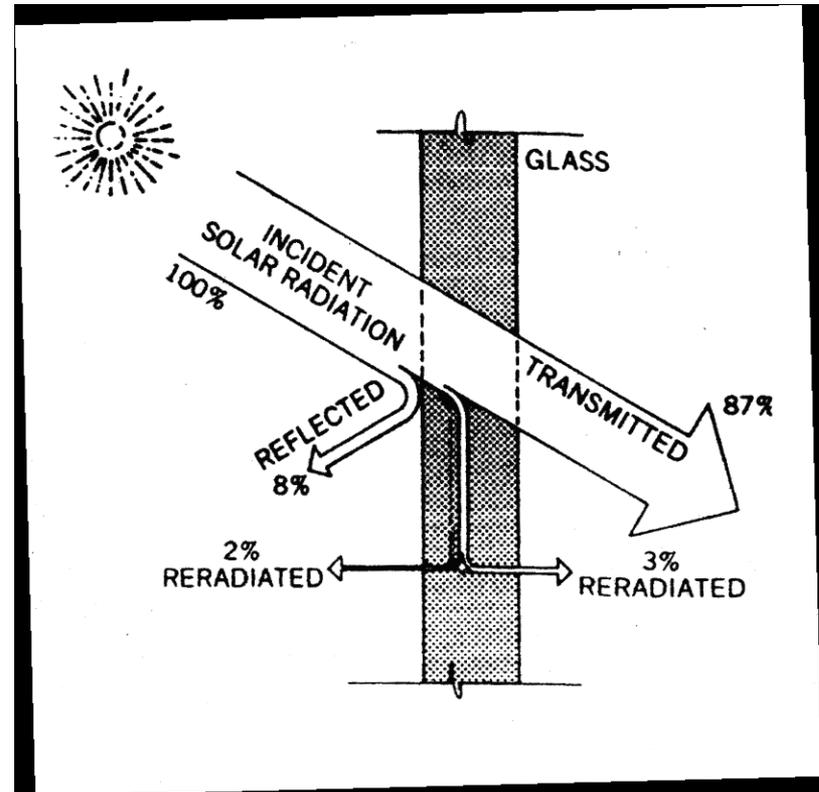
# Vetro per serramenti

Il vetro è una sostanza costituita da:

- silice, sotto forma di sabbia, per il 72%, componente che rende il vetro trasparente;
- soda, che riduce la temperatura di fusione della silice (14%);
- calce (11%), con compiti stabilizzanti che rendono il vetro più resistente all'acqua;
- altri elementi, ad esempio ossidi metallici, che differenziano i diversi tipi di vetro.

La **differenziazione** tra i tipi di vetro, ottenuti per trattamenti termici, chimici, rivestimento e trattamento superficiale, è volta a ottimizzare le prestazioni riconducibili a diversi requisiti:

- benessere ed **efficienza energetica**, con lo sfruttamento (o l'esclusione) di apporti passivi e attivi di calore e luce;
- **sicurezza**, per sopportare urti e rotture;
- **aspetto**, tradotto nella possibilità di ottenere diverse finiture superficiali.



# Vetro per serramenti

Le caratteristiche di comfort termico negli ambienti confinati e la prestazione energetica complessiva di un organismo edilizio sono fortemente caratterizzate dalle **prestazioni** dei **componenti trasparenti** dell'involucro edilizio, ed in particolare:

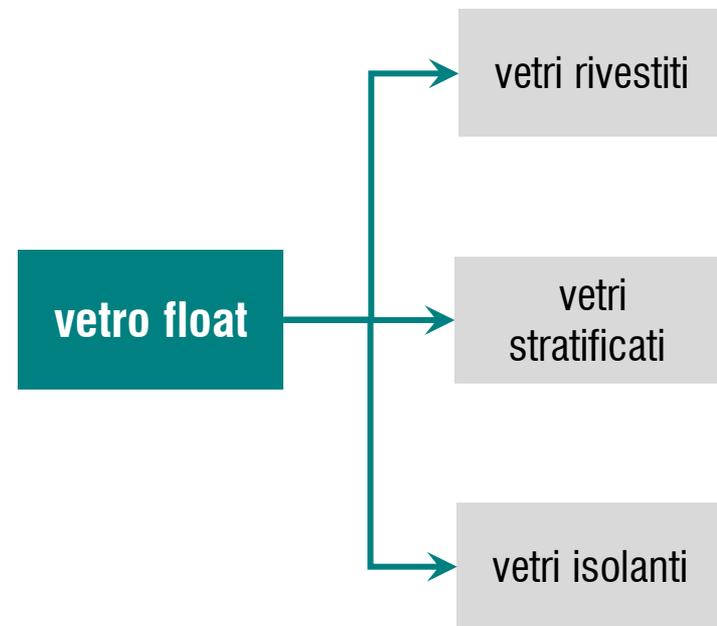
- dalla capacità dei serramenti di **ridurre** le **dispersioni termiche** invernali attraverso il vetro, il telaio e l'eventuale cassonetto;
- dalla **sensibilità** del **serramento** alle **infiltrazioni d'aria** alle superfici di contatto tra componenti.

Ai tre principali elementi costitutivi di un serramento (**vetro**, **distanziatore** e **telaio**) è possibile aggiungerne due opzionali, il **sistema schermante** ed il **cassonetto**, dipendenti dalla tipologia del precedente sistema.

La più diffusa tipologia di vetro è il **float**, fabbricato secondo il sistema a galleggiamento con l'ausilio di un bagno di stagno fuso il quale, unito alla ricottura su ambo i lati, fornisce lastre di spessore compreso tra 2 e 25 mm, con superfici perfettamente lisce e parallele.

Usualmente, nella miscela di base del vetro float, è impiegata una quota di vetro riciclato frammentato.

Il vetro float, brillante e caratterizzato da elevata luminosità, costituisce il materiale base per la realizzazione di tutti i vetri impiegati in edilizia, detti prodotti trasformati.



# Vetro per serramenti

I **vetri rivestiti** sono lastre sulle quali è applicato un **deposito di ossidi metallici, argento, fluoruri** o altri composti per alterarne una o più proprietà. Secondo la UNI 1096, si individuano le seguenti classi:

- Classe A. La superficie rivestita può essere posta sia verso l'esterno, sia verso i locali interni;
- Classe B. La superficie rivestita deve essere rivolta verso i locali interni;
- Classe C. Il vetro deve essere impiegato solo in vetrate multistrato sigillate, con la superficie rivestita rivolta verso l'intercapedine;
- Classe D. Come la classe C; il vetro deve però essere incorporato in vetrate sigillate già al termine del processo di produzione;
- Classe S. Come la classe A, per applicazioni specifiche.

Il **coating magnetronico** permette di ridurre l'emissività del vetro float da 0,85 a 0,05, o inferiore. La pellicola prodotta deve essere protetta in intercapedine.

## DEPOSITI PIROLITICI

Durante la produzione della lastra *float*, in fase di ricottura, si spruzzano ossidi metallici per consentire lavorazioni successive

Riduzione scambi termici radiativi

$$\varepsilon = 0,20 \div 0,15$$

## DEPOSITI MAGNETRONICI

Sono effettuati su lastre finite mediante elettroni accelerati che, in camere sottovuoto, proiettano atomi di metallo sulle lastre.

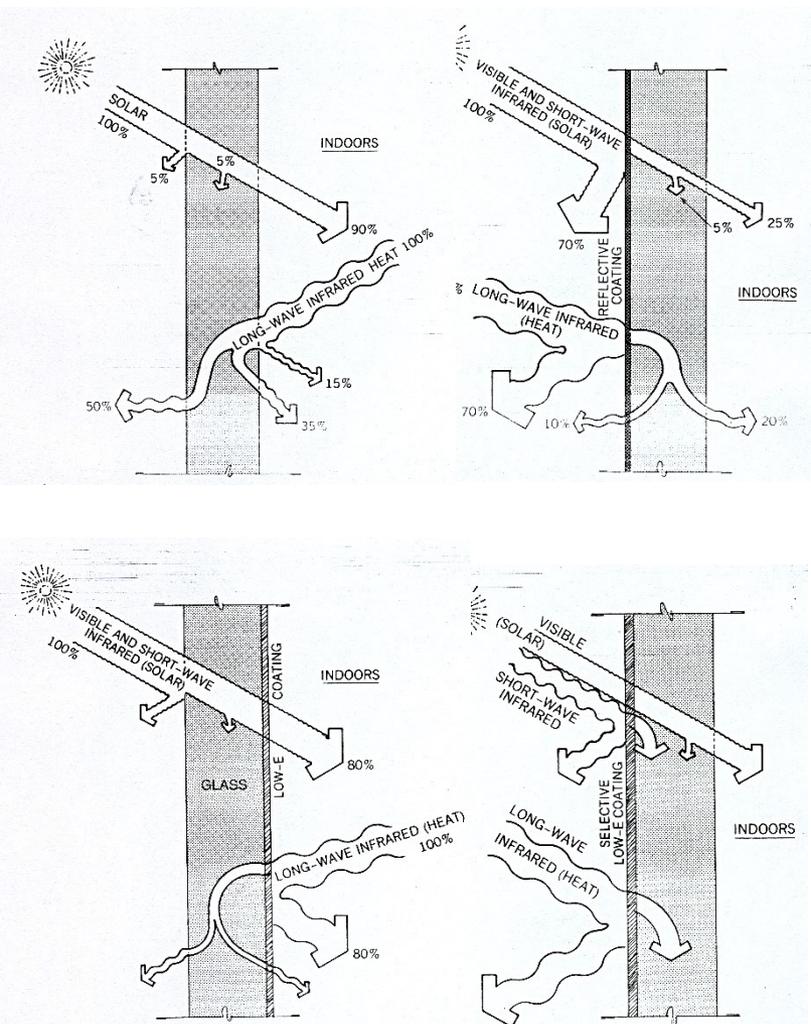
Riduzione scambi termici radiativi

$$\varepsilon = 0,05 \div 0,02$$

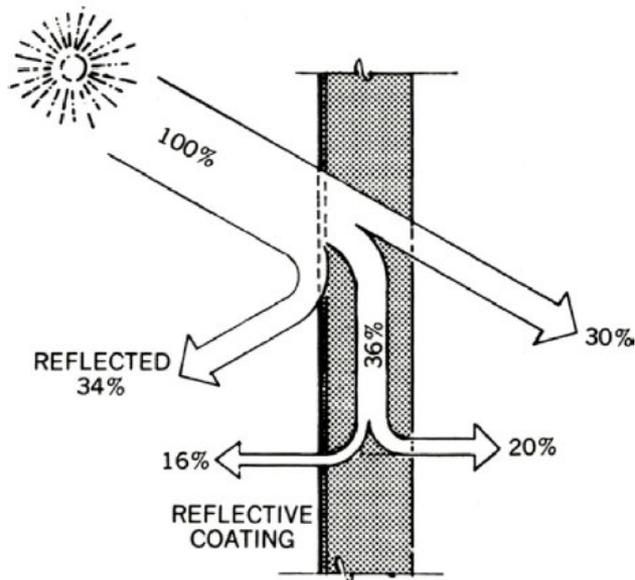
# Vetro per serramenti

In base alle proprietà selettive del deposito, si distinguono:

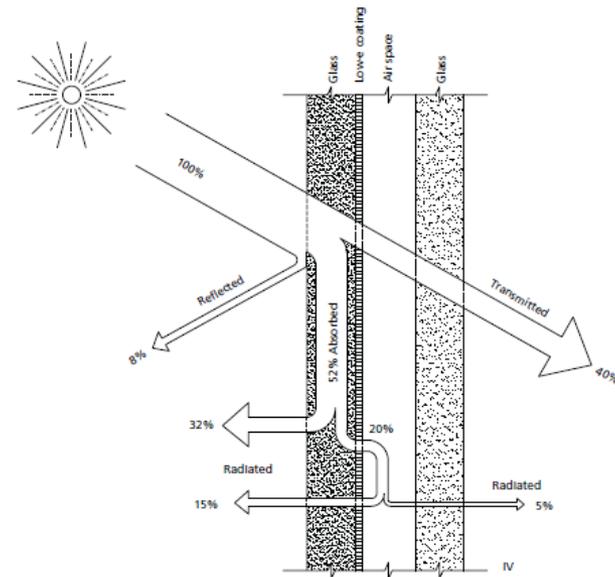
- vetri **riflettenti** a **controllo termico**, o **basso emissivi**, capaci di riflettere una quota significativa del flusso termico che investe il vetro partendo dall'ambiente interno. La trasmittanza termica delle lastre risulta perciò ridotta, e risultano trascurabili gli effetti di trasmissione della radiazione luminosa (incolore all'occhio umano);
- vetri **riflettenti** a **controllo solare**, dotati di un deposito specchiante per l'energia solare contenuta alle lunghezze d'onda dell'infrarosso e, in parte, del visibile. La prestazione dipende dallo spessore del deposito, influenzando anche su trasparenza ed aspetto cromatico della lastra;
- vetri **selettivi** a **controllo termico e solare**, soluzioni che uniscono le prestazioni delle due precedenti categorie.



## PROPRIETÀ SELETTIVE DEL VETRO



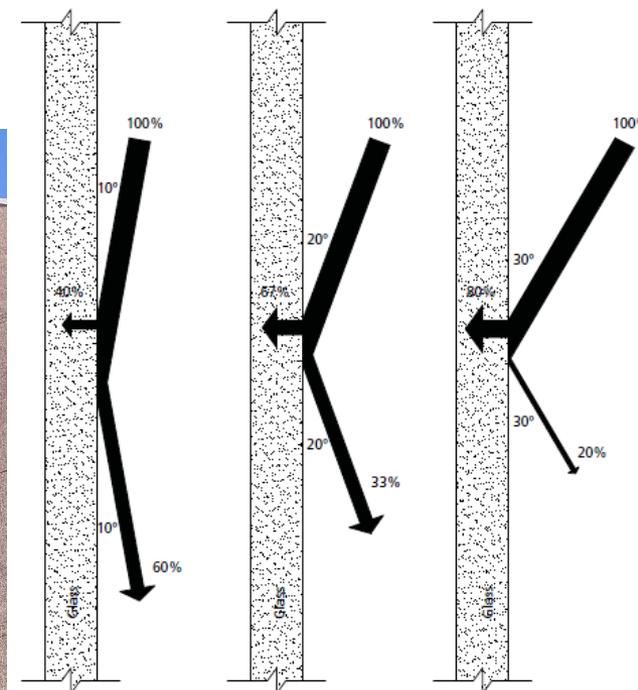
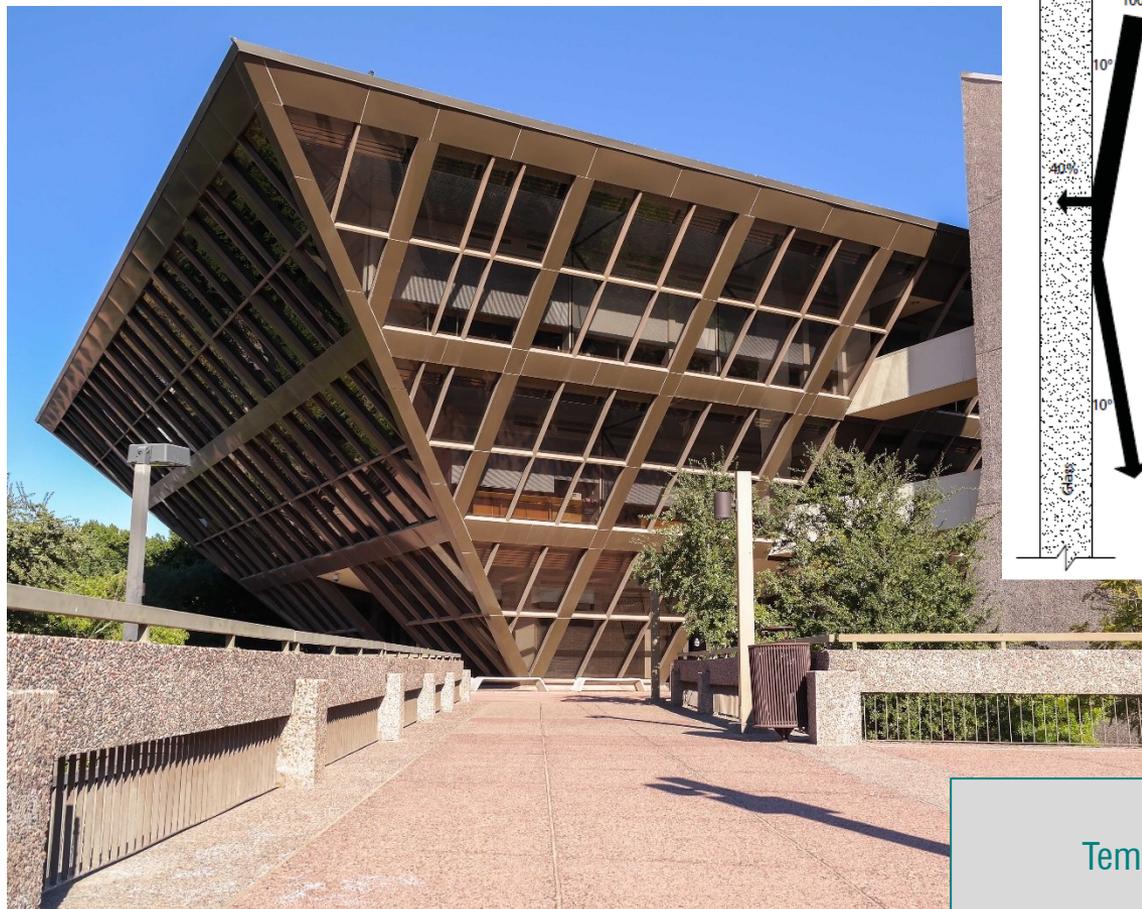
Vetro riflettente



Vetro selettivo con rivestimento basso-emissivo

# Vetro per serramenti

Il vetro può bloccare l'accesso della radiazione solare anche sfruttando le leggi ottiche della riflessione.



Tempe City Hall, Arizona (USA)

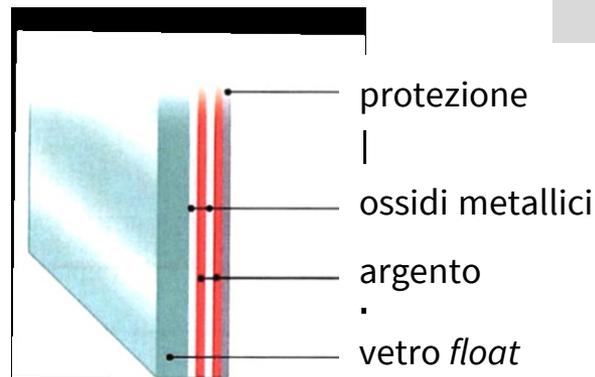
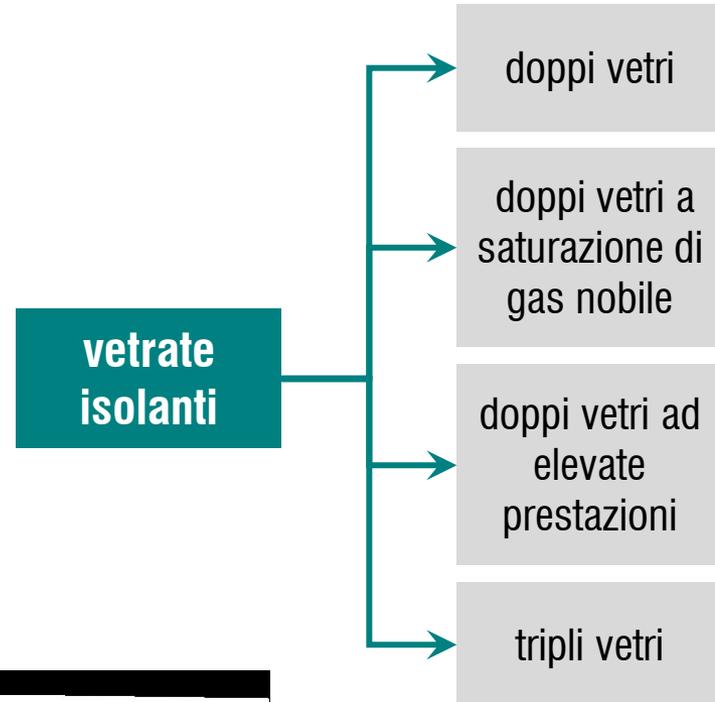
# Vetro per serramenti

Le vetrate **isolanti** sono, per costituzione, realizzate impiegando due o più lastre di vetro float o di vetro rivestito, separate da distanziatori e sigillate ermeticamente lungo il perimetro così da creare un'intercapedine chiusa continua (definizione da UNI 1279).

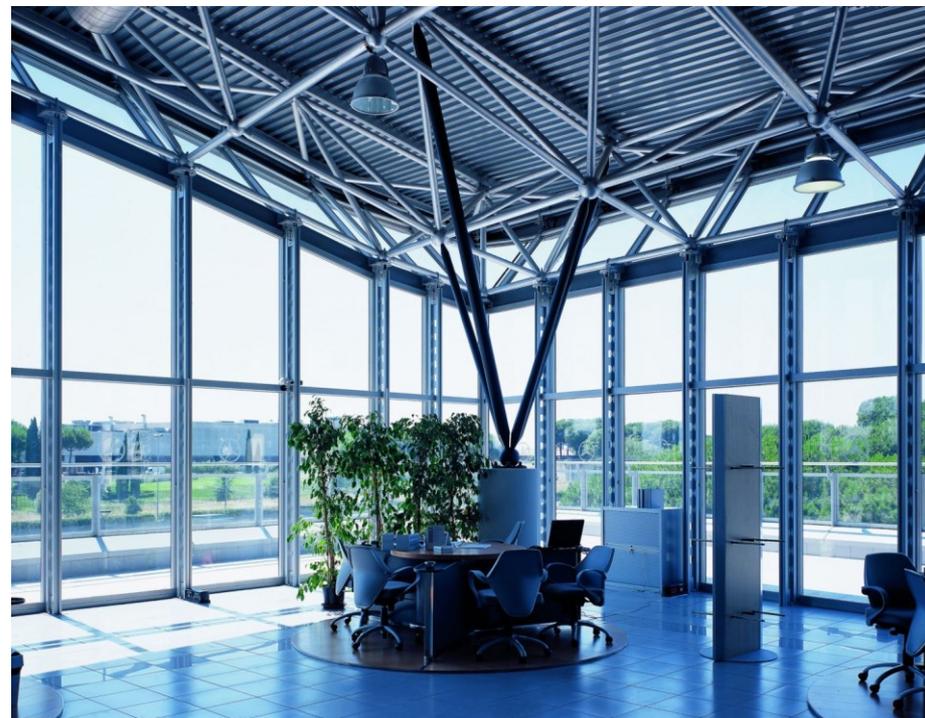
La finalità del sistema è la realizzazione di un serramento ad elevate prestazioni termiche e/o acustiche. L'incremento delle prestazioni è reso possibile proprio dall'**intercapedine** che riduce la trasmittanza della vetrata: in essa sono presenti, per **saturazione**, aria secca o **gas nobili**, con una conducibilità termica estremamente inferiore a quella della vetrata (per vetro float, si assume  $\lambda = 1,0 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).

A tale funzione isolante possono essere associate:

- il controllo della radiazione solare;
- il controllo della trasmissione della luce;
- l'isolamento acustico;
- sicurezza e resistenza al fuoco.



# Vetro per serramenti

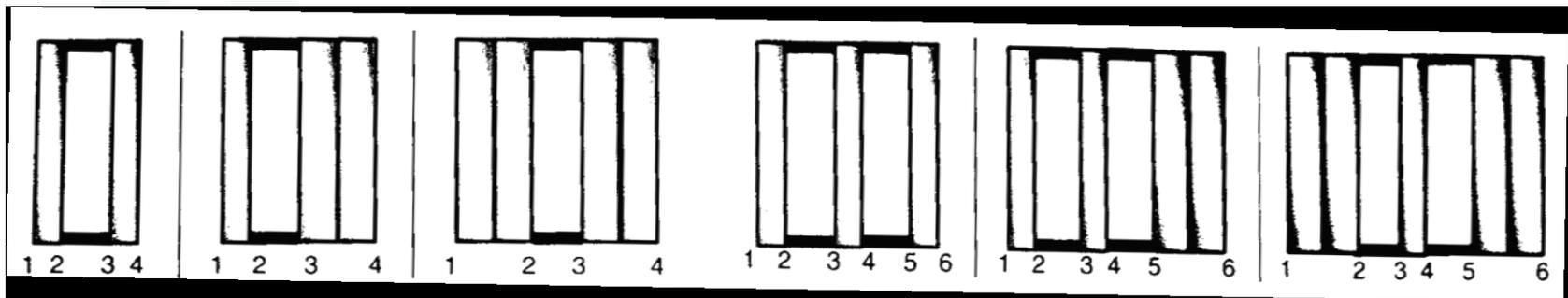


Concessionaria Mercedes, Roma

# Vetro per serramenti

Se la prestazione di isolamento termico è prevalente sulle altre, si individuano:

- **Doppi vetri**, costituiti da due lastre di vetro separate da un'intercapedine saturo d'aria secca ferma. Lo spessore delle lastre varia da 3 a 10 mm, con interposizione di una lama d'aria di spessore variabile tra 6 e 16 mm;
- **Doppi vetri** con **intercapedine saturata di gas nobile**: rispetto all'aria ferma ( $\lambda = 0,026 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) si ottengono prestazioni più elevate impiegando argon ( $\lambda = 0,017 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) o krypton ( $\lambda = 0,009 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ );
- **Doppi vetri ad elevate prestazioni**, comprendenti lastre riflettenti basso emissive, oppure / e a controllo solare, oppure / e stratificate. La presenza di un rivestimento sulla faccia interna della seconda lastra incrementa la riflessione del calore assorbito dalla lastra stessa verso i locali interni;
- **Tripli vetri**, soluzioni per portare la trasmittanza della vetrata a valori inferiori a  $1,0 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ . I riempimenti delle intercapedini e l'adozione di rivestimenti e stratificazioni avviene in maniera analoga a quanto visto per i doppi vetri.



# Vetro per serramenti

TIPO DI VETRO	FATTORE SOLARE g [-]	TRASMITTANZA TERMICA U [W/m <sup>2</sup> K]	TRASMISSIONE LUMINOSA $\tau_L$ [-]
Vetrocamera mm (4+15+4) Intercapedine: aria	0,77	2,80	0,81
Vetrocamera mm (4+15+4) Intercapedine: argon 85%	0,77	2,60	0,81
Vetrocamera low-e (1) mm (4+15+4) Intercapedine: aria	0,72	1,40	0,79
Vetrocamera low-e (1) mm (4+15+4) Intercapedine: argon 85%	0,72	1,20	0,79
Vetrocamera low-e (2) mm (2,4+15+4) Intercapedine: aria	0,41	1,40	0,71
Vetrocamera low-e (2) mm (2,4+15+4) Intercapedine: argon 85%	0,41	1,10	0,71
Vetrocamera a basso fattore solare mm (1,6+15+4) Intercapedine: aria	0,34	2,70	0,39
Vetrocamera selettivo mm (2,4+15+4) Intercapedine: argon 85%	0,32	1,10	0,50

- (1) Il rivestimento basso emissivo è applicato sulla lastra *float* interna, sulla superficie rivolta verso l'intercapedine.  
 (2) Il rivestimento basso emissivo è applicato sulla lastra *float* esterna, sulla superficie rivolta verso l'intercapedine.

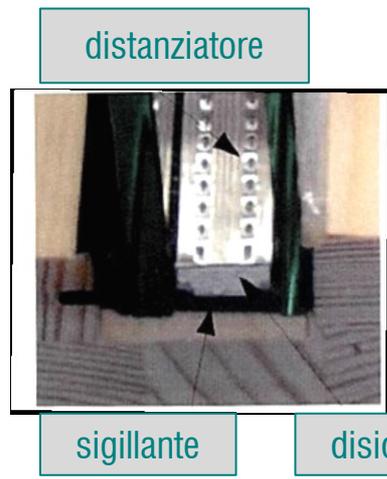
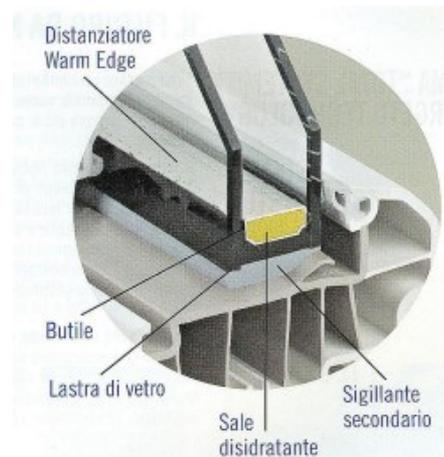
# Distanziatore

Il **distanziatore** è l'elemento volto a mantenere la **distanza** tra le **lastre di vetro**, realizzato usualmente in **alluminio**; attraverso l'applicazione di un **sigillante butilico** ne è garantita la tenuta all'aria.

Per quanto concerne la possibile formazione di condensa a causa del ponte termico generatosi localmente, soluzioni definite "**warm edge**", "a giunto caldo", permettono di ovviare all'elevata conduttività termica dell'alluminio, pari a  $180 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , con la realizzazione di un **profilo distanziatore in PVC** o in materiale organico rinforzato con fibra di vetro: in questo modo è possibile ridurre la trasmittanza lineica  $\psi_L$  del distanziatore fino a  $0,040 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , permettendo una riduzione massima del 10% della trasmittanza termica complessiva del serramento.

È quindi opportuno prevedere elementi tecnici dotati di pannelli termoisolanti, di spessore minimo di 20 mm sui due lati del cassonetto comunicanti con l'ambiente esterno.

Per quanto concerne i cassonetti, questi elementi per l'alloggiamento degli avvolgibili sono punti singolari a forte dispersione termica, in cui si manifestano inoltre riduzioni delle prestazioni di isolamento acustico e tenuta all'aria dell'involucro edilizio.



# 9.5

---

## Schermature solari

# Principi



# Principi



*Part of the year the sun is our friend,  
and part of the year it is our enemy.*

*(Drawing by Le Corbusier from  
Le Corbusier: Oeuvre Complete, 1938–  
1944, Vol. 4, by W. Boesiger, 7<sup>th</sup> ed.  
Verlag fuer Architektur Artemis  
© 1977.)*

# Principi

Una **schermatura solare** è un sistema progettato per favorire oppure controllare il passaggio e la diffusione della luce solare attraverso una superficie vetrata; inoltre, per diminuire il carico termico incidente sulla superficie stessa o su di una superficie opaca.

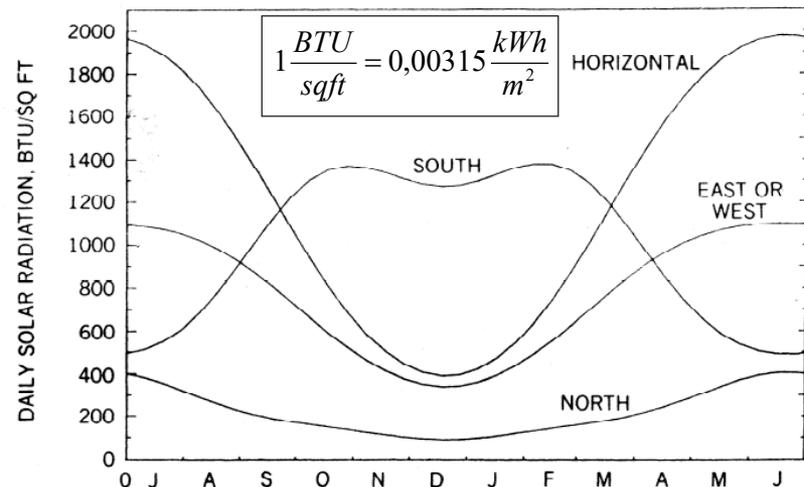
I sistemi di schermatura devono **consentire l'incidenza della radiazione** durante la **stagione fredda** per favorire il guadagno termico, ed **impedirla** o ridurla durante la **stagione calda** per evitare il surriscaldamento degli ambienti interni che va a gravare l'impianto di condizionamento.

I sistemi di schermatura si possono classificare a seconda della **posizione**, della **tipologia** e del **movimento** che eventualmente è concesso, e del **materiale** di cui sono costituiti:

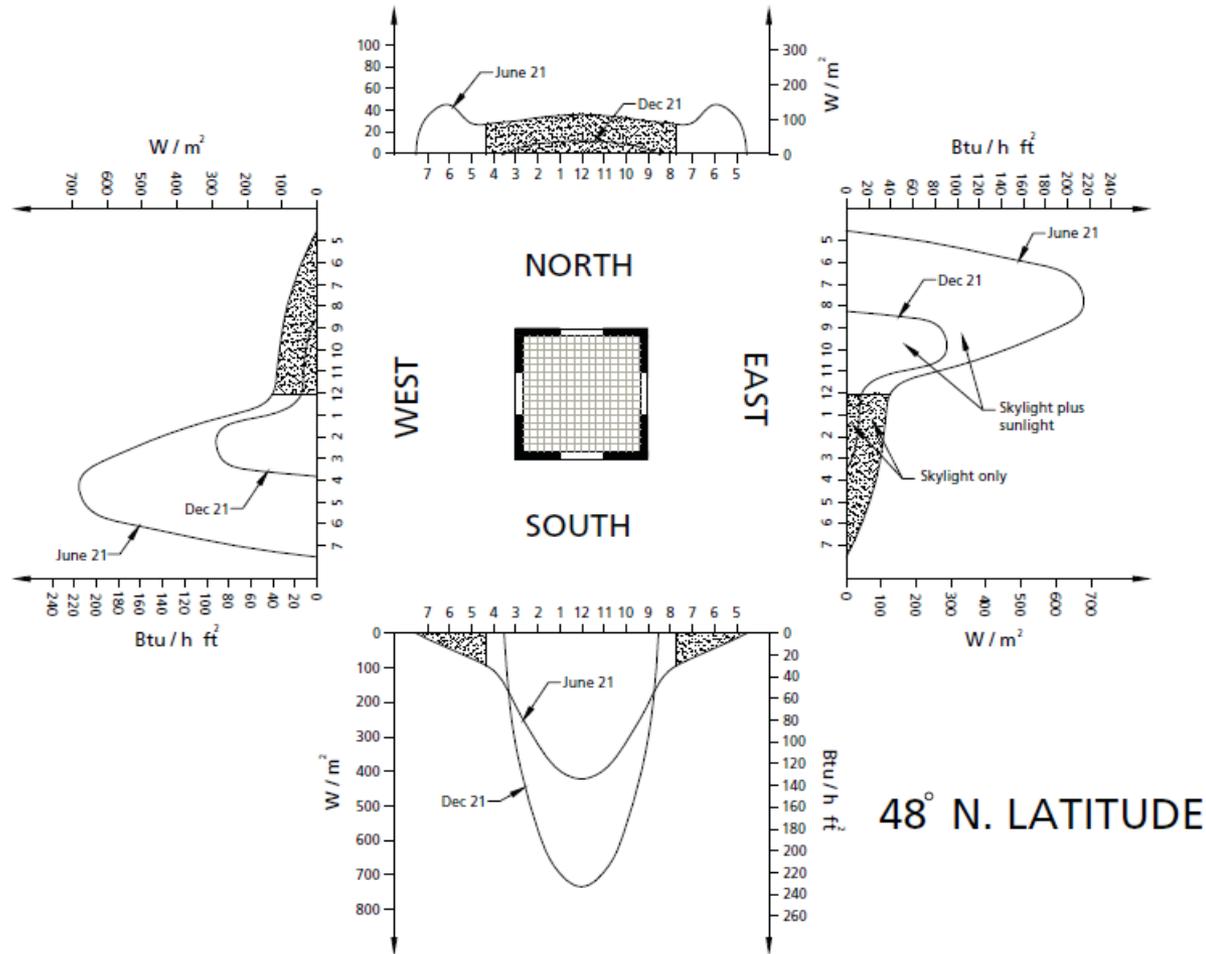
- posizionamento, interno o esterno all'involucro;
- tipologia, pannelli, lamelle, tende;
- movimento, tipo fisso oppure mobile;
- materiale, opaco o trasparente.

**L'ombreggiamento** rappresenta il primo passo verso una efficace strategia per affrontare il carico termico della stagione calda; solo successivamente si applica il **raffrescamento passivo** con la ventilazione naturale, e quindi l'impianto per il **condizionamento estivo**.

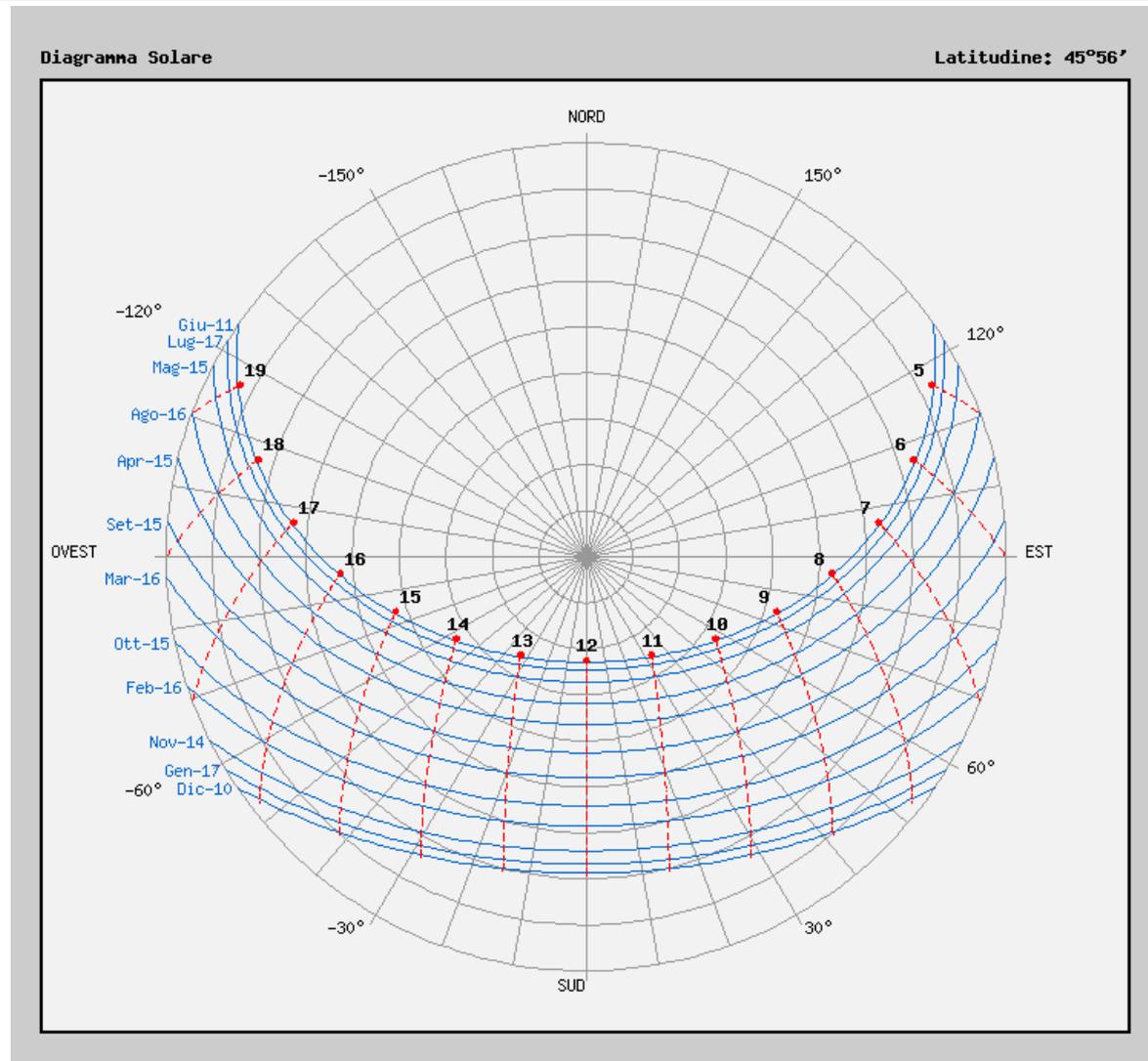
Si ricorda che l'esposizione **Sud** permette di ottenere minori quantità di radiazione solare estiva rispetto a qualsiasi altra esposizione.



# Principi



# Percorsi solari

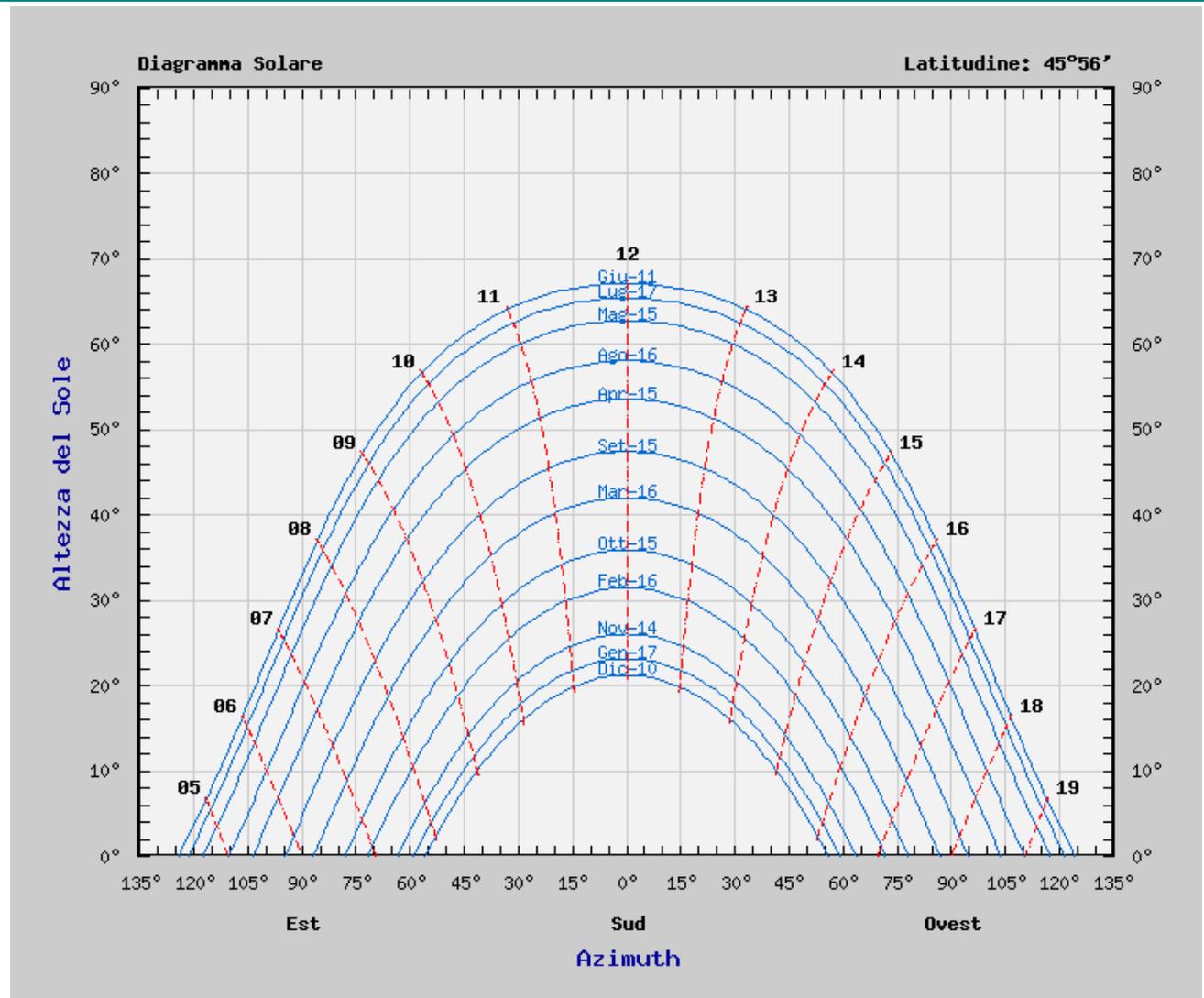


# 9



# Percorsi solari

9

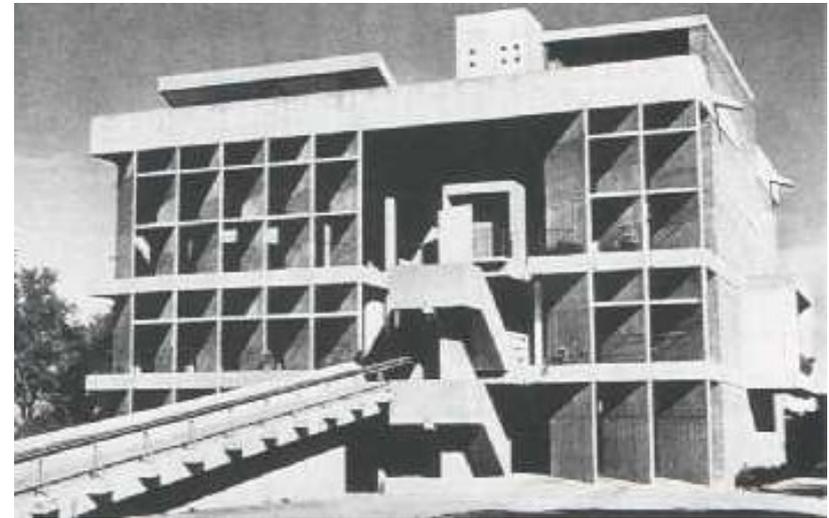


# Principi

L'abilità nella progettazione di una schermatura solare sta nel bloccare la radiazione solare quando questa genera surriscaldamento senza per questo impedire la vista verso l'esterno ed il passaggio della luce. Tale requisito diviene più facilmente attuabile nei **climi temperati**, dove buona parte della **radiazione solare** in un dato istante è fornita dalla **componente diretta**: una volta neutralizzata questa parte, il carico termico ha già subito un sufficiente abbattimento. È così possibile predisporre una schermatura posta al di sopra della superficie trasparente che intercetti il Sole quando raggiunge il suo corso più alto, senza per questo incidere sulla panoramica visibile.

I sistemi di schermatura fissi possono essere **verticali**, quindi disposti con l'asse parallelo alla superficie della facciata ortogonalmente al terreno, oppure **orizzontali**, mediante un piano normale a tale superficie; questi sistemi vengono di norma fissati al livello del solaio, proteggendo così gli ambienti interni dell'edificio.

Nelle **regioni calde**, le tipologie sono combinate, dando vita ad un **effetto compositivo** a cassettoni, per mantenere contenuti gli apporti solari per tutto il giorno; schermature fisse sono i **brise soleil** sperimentati da Le Corbusier, ma anche aggetti e terrazze.



Capital Complex, Chandigarh, India, 1952.

# Principi

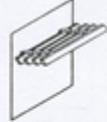
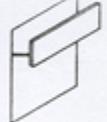
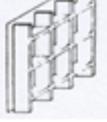
VALLETTA CITY GATE, LA VALLETTA (M)



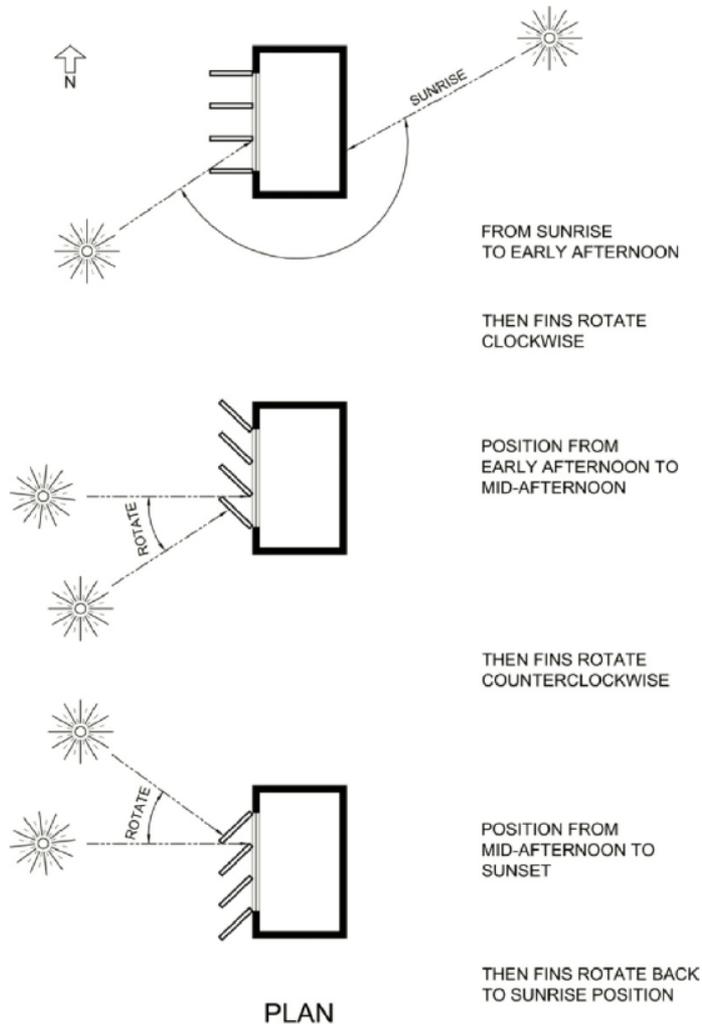
# Soluzioni conformi

Provvedere una facciata con esposizione Sud di un **pannello schermante orizzontale** è una soluzione efficace, poiché d'estate il Sole è alto sull'orizzonte. Nei **climi caldi**, dove può risultare necessario schermare anche le facciate rivolte a Nord, il pannello orizzontale perde ogni attrattiva ed è senz'altro più conveniente ricorrere a **schermi verticali**. Le esposizioni **Est** ed **Ovest** pongono una **situazione più difficoltosa**, poiché il Sole è basso quando insiste su queste superfici, e l'efficacia di un pannello orizzontale è senza dubbio minore.



Descrizione	Migliore esposizione
 <i>Pannello orizzontale</i>	Sud, Est, Ovest
 <i>Pannello orizz. con lamelle orizzontali</i>	Sud, Est, Ovest
 <i>Pannello orizz. con lamelle verticali</i>	Sud, Est, Ovest
 <i>Pannello verticale</i>	Sud, Est, Ovest
 <i>Schermi verticali</i>	Est, Ovest, Nord
 <i>Schermi verticali inclinati</i>	Est, Ovest
 <i>Schermatura combinata</i>	Sud, Est, Ovest

# Soluzioni conformi



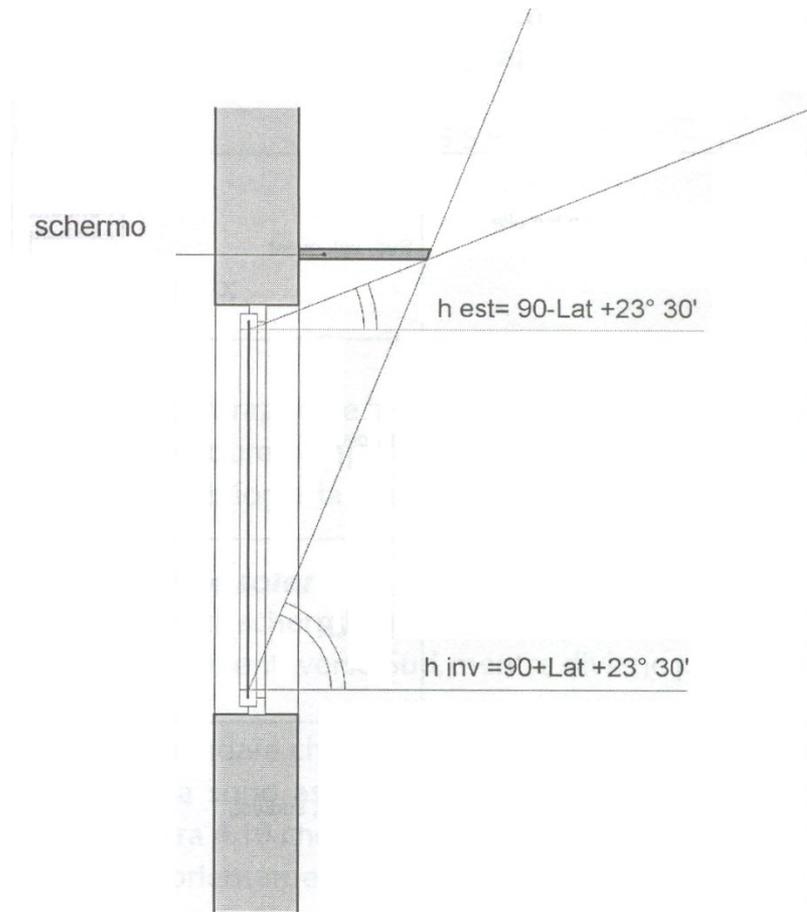
Impostare degli **schermi verticali continui** permette di risolvere il problema in modo più appropriato, ma va considerato che l'efficacia di tale sistema è reale solo per un **passo elevato tra gli schermi** stessi, fissi o mobili che siano, il che implica una severa **riduzione della vista verso l'esterno**. Nei climi caldi, in tali esposizioni, è opportuno combinare schermi orizzontali e verticali.

# Soluzioni conformi

Un **sistema schermante discreto**, come un pannello orizzontale posto sopra la finestra, ed uno **continuo** quale una veneziana applicata alla stessa finestra hanno in pratica lo stesso comportamento a parità di posizione del Sole nel cielo: però **nel secondo sistema si riduce la porzione di vista esterna**, mentre un pannello orizzontale ostruisce solo la regione più alta.

Le **schermature fisse** vengono spesso applicate poiché hanno un costo limitato, ma dimostrano dei **limiti** che possono venire ovviati considerando sistemi mobili.

I sistemi mobili già a livello intuitivo rispondono in maniera più congrua al problema dell'ombreggiamento, il cui scopo è **ridurre l'accesso solare** all'interno dell'edificio nel periodo di surriscaldamento: la schermatura deve quindi rispondere ad un **requisito termico**. Detto in altre parole, il sistema schermante applicato deve trovarsi in fase con le condizioni termiche esterne e modificarle quando esse provocano un discomfort interno.



# Soluzioni conformi



Concessionaria Volkswagen, Roma

# Schermi fissi e mobili

Normalmente, le schermature **fisse** sono **efficaci** solo per le **particolari condizioni astronomiche** per le quali sono state progettate, e per essere efficaci in condizioni diverse devono essere associate a sistemi mobili.

Una **schermatura fissa**, ad esempio un pannello orizzontale innestato sopra la finestra, **non risponde alle condizioni termiche**, ma a quelle derivanti dalla **posizione del Sole**, e saranno queste a determinare l'ombra portata sulla finestra e quindi l'efficacia dello schermo.

La lunghezza di un pannello orizzontale fisso viene calcolata per garantire il blocco della radiazione quando il Sole è alto e permetterne l'accesso quando è basso, ma questo dimensionamento fa riferimento alle condizioni estreme del corso solare, senza porre il problema delle situazioni intermedie.

Gli angoli descritti dal percorso solare e la temperatura esterna sono **fenomeni sfasati**, per due ragioni.

## VARIAZIONI GIORNALIERE

in due giorni consecutivi possono verificarsi condizioni climatiche che richiedono diversi accessi solari ai serramenti

## SFASAMENTO ANNUALE

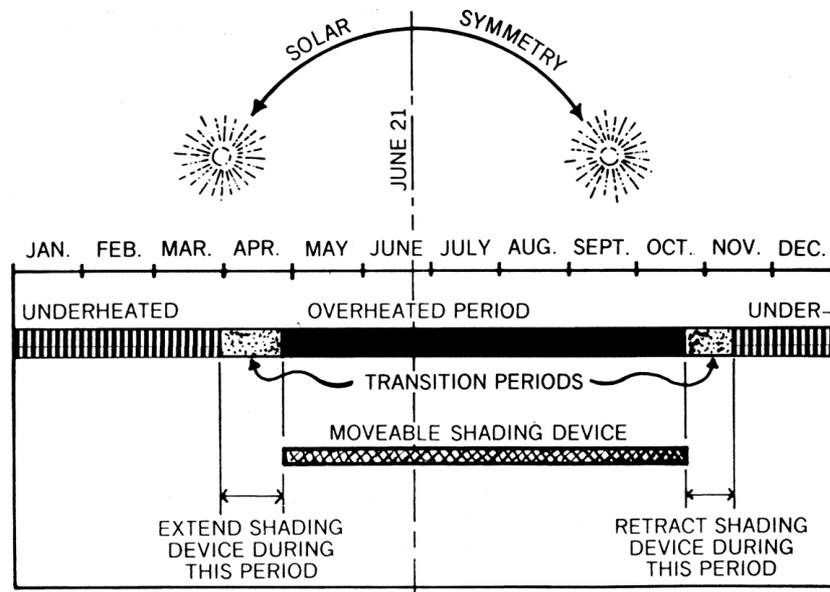
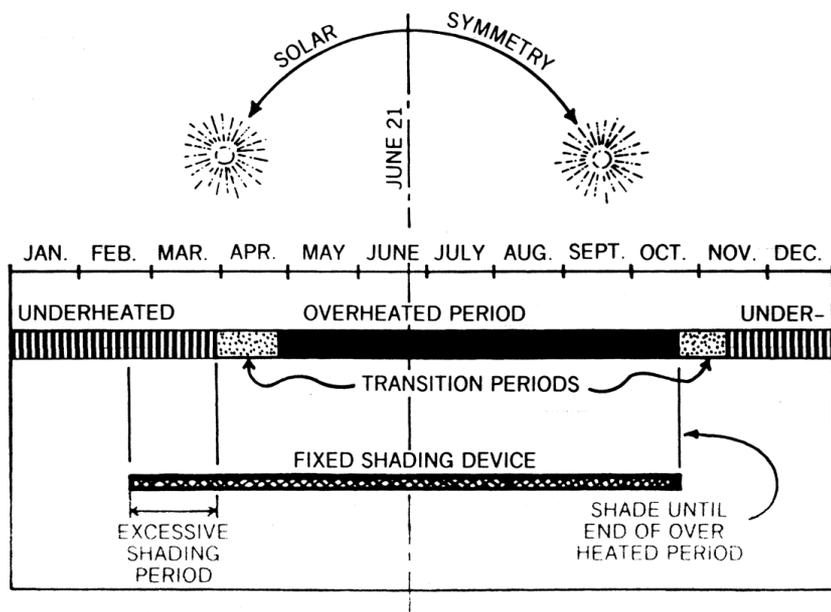
la variazione annuale della radiazione solare diretta, funzione dei percorsi solari, non coincide con quella delle temperature

# Schermi fissi e mobili

Soprattutto in primavera ed in autunno, può accadere che due giorni consecutivi portino con sé **condizioni meteorologiche opposte**, e l'ambiente circostante possa così raffreddarsi all'improvviso. L'arrivo di una perturbazione impedisce l'arrivo della radiazione solare diretta alla superficie terrestre, riducendo la sollecitazione termica; si passa così da una condizione di surriscaldamento ad una di sottoriscaldamento in sole

24 ore. Se uno schermo fisso è progettato per bloccare la radiazione solare a metà settembre, non può essere ritratto al verificarsi, in questo mese, di una giornata eccezionalmente fredda.

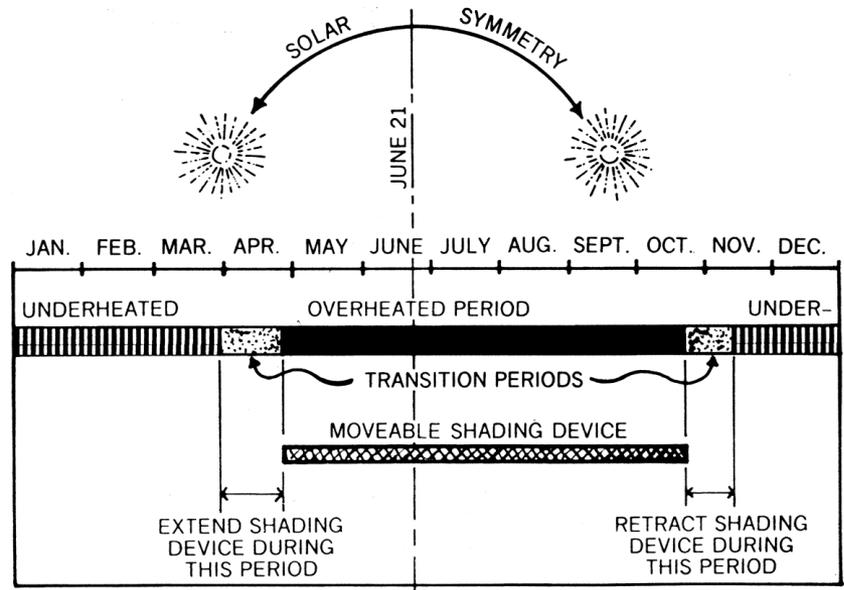
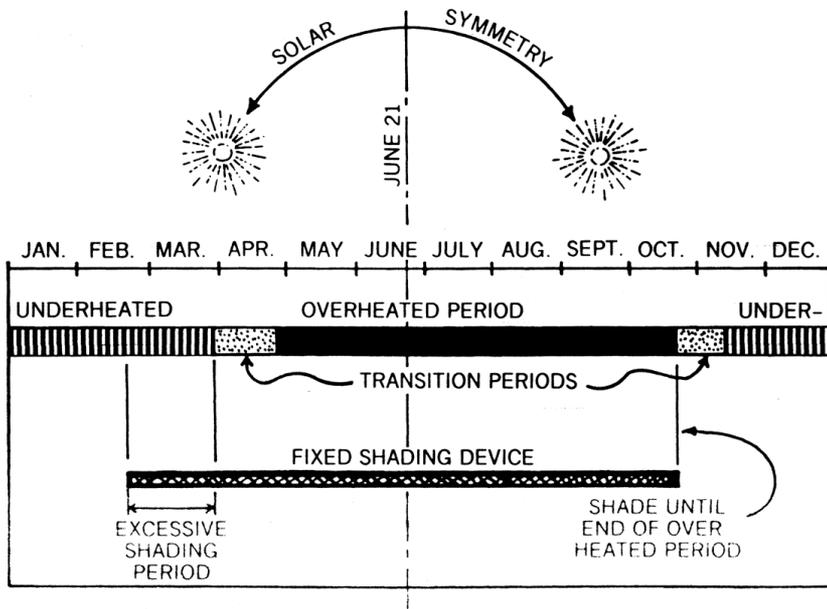
Seconda e più ampia considerazione, l'**anno solare** (la descrizione del percorso apparente che il Sole descrive sulla volta celeste) e l'**anno termico** (le oscillazioni annuali della temperatura esterna) sono **sfasati**.



# Schermi fissi e mobili

A causa della grande **massa della Terra** e dell'**inerzia termica dell'atmosfera** che la avvolge, il pianeta si riscalda lentamente in primavera, cosicché le temperature più elevate si registrano solo **40 giorni dopo il solstizio d'estate** (21 giugno). C'è poi un **ritardo simile nel raffreddamento** del pianeta trascorso il solstizio invernale.

L'anno termico non è simmetrico rispetto al 21 giugno, lo è il periodo di efficacia della schermatura fissa. Un sistema schermante fisso, quindi, opera per periodi di uguale lunghezza prima e dopo il solstizio estivo, senza tener conto del fatto che, ad esempio, il 30 agosto è un giorno senz'altro più caldo del 12 aprile, equidistanti dal 21 giugno.



# Schermi fissi e mobili

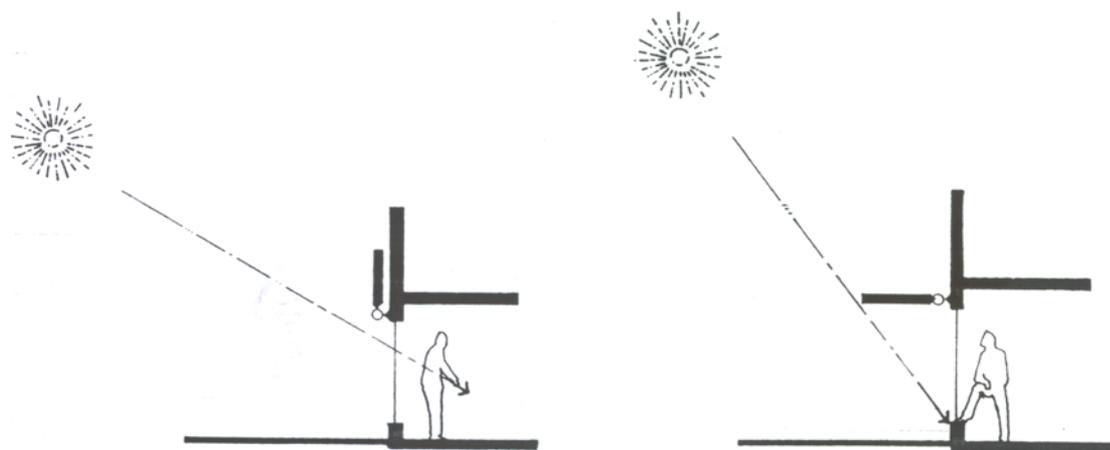
Tale fatto porta al verificarsi di una di queste due situazioni, entrambe non ottimali:

- se lo schermo è progettato per conservare intatti gli **apporti solari** durante la stagione del riscaldamento, risulterà un periodo verso la fine dell'estate in cui il Sole accede liberamente alla finestra;
- se invece l'intero periodo di **surriscaldamento** viene **contrastato**, lo schermo sarà efficace anche verso la fine dell'inverno, quando la radiazione solare è ancora gradita e ci si trova ancora nella stagione di riscaldamento.

Si rende quindi necessario ottemperare a questa asimmetria introducendo **schermi mobili** che siano efficaci in estate pur salvaguardando i guadagni invernali.

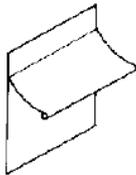
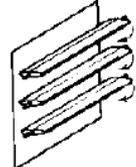
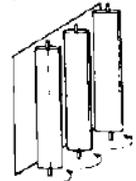
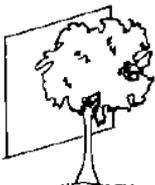
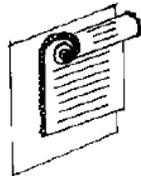
La modalità di funzionamento di uno schermo mobile, sulla base di questi principi, può essere anche molto semplice: presentare **due sole configurazioni** durante il corso dell'anno può essere sufficientemente **efficace**. Ad esempio, la schermatura può essere estesa nella tarda primavera per poi venire ritirata per garantire la completa esposizione solare in inverno.

9



# Schermi fissi e mobili

Uno schermo costituito di **lamelle** e posizionato ortogonalmente alla parete (**sistema continuo**), oppure un **pannello rotante** attorno al proprio asse (sistema **discreto**) non portano **carichi** ulteriori dovuti alla **neve**, ed oltretutto **impediscono all'aria calda di ristagnare** al di sotto di essi: sono vantaggi che un pannello orizzontale infitto nella parete non può offrire, oltre ad essere più sensibile agli effetti del vento.

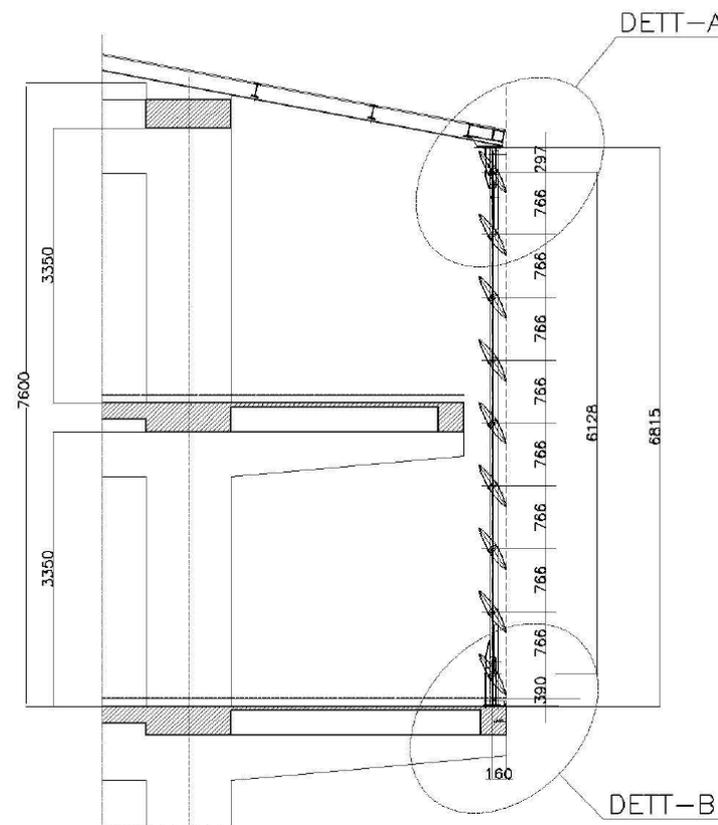
		Descriptive Name	Best Orientation	Comments
IX		Overhang Awning	South, east, west	Fully adjustable for annual, daily, or hourly conditions Traps hot air Good for view Can be retracted during storms Best buy!
X		Overhang Rotating horizontal louvers	South, east, west	Will block some view and winter sun
XI		Fin Rotating fins	East, west	Much more effective than fixed fins Less restricted view than slanted fixed fins
XII		Deciduous plants Trees Vines	East, west southeast, southwest northeast northwest	View restricted but attractive for low-canopy trees Self-cooling <b>Highly recommended</b>
XIII		Exterior roller shade	East, west, southeast, southwest northeast northwest	Very flexible, from completely open to completely closed View is restricted when shade is used <b>Provides security</b>

# 9

# Schermi fissi e mobili

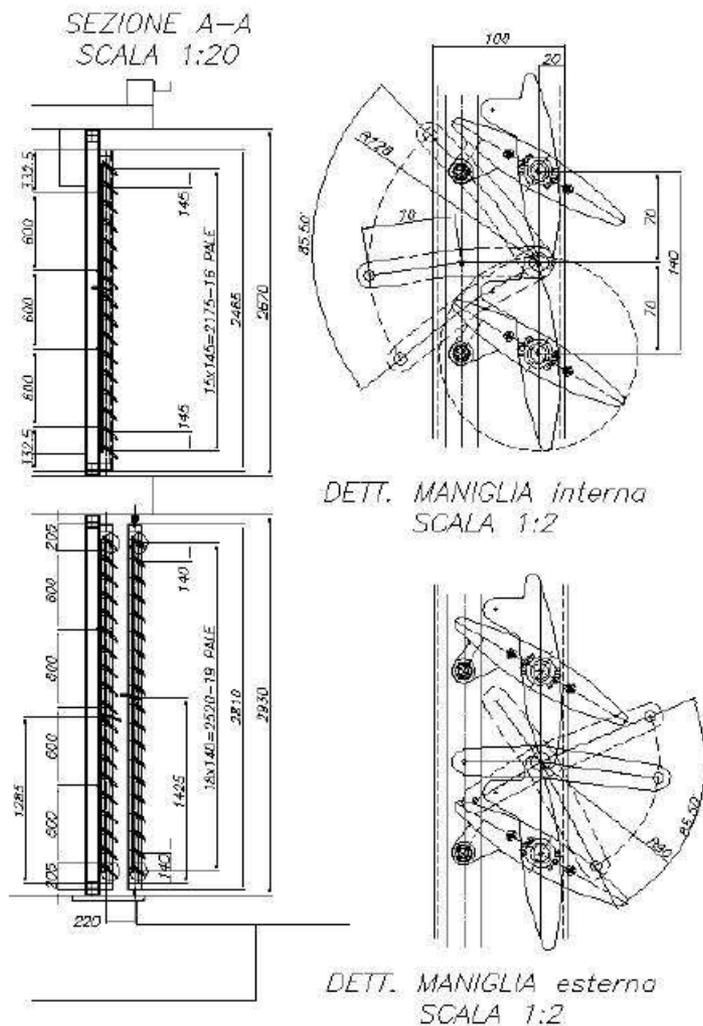


SEZIONE TIPO



Stadium Colombino, Huelva (E)

# Schermi fissi e mobili

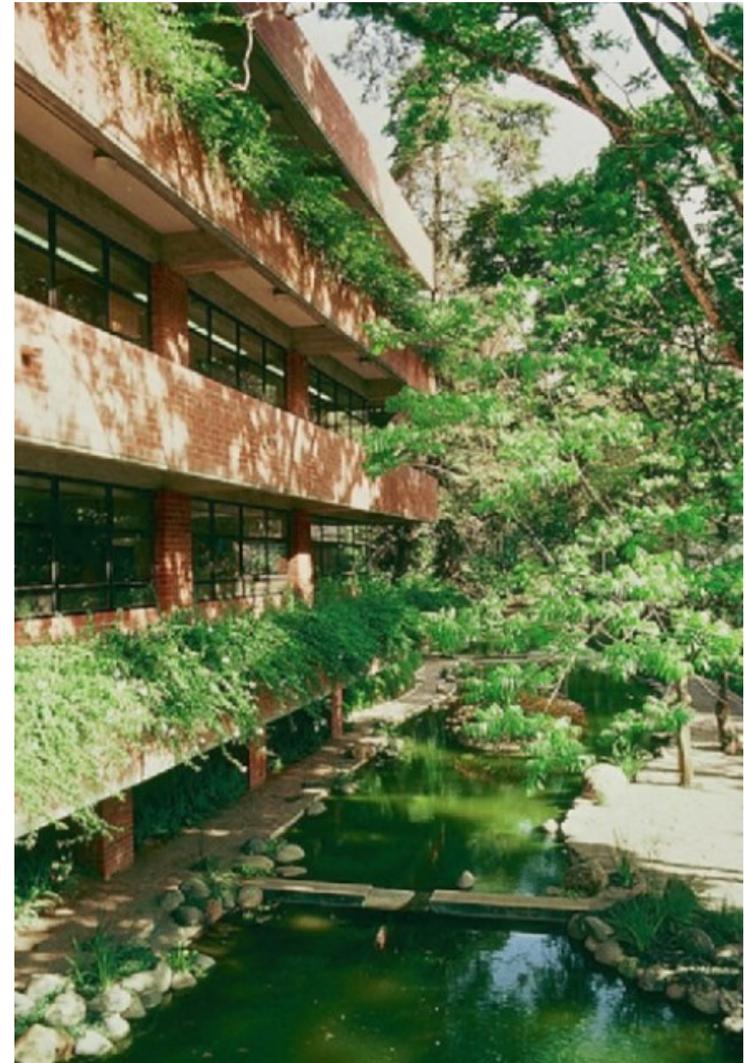
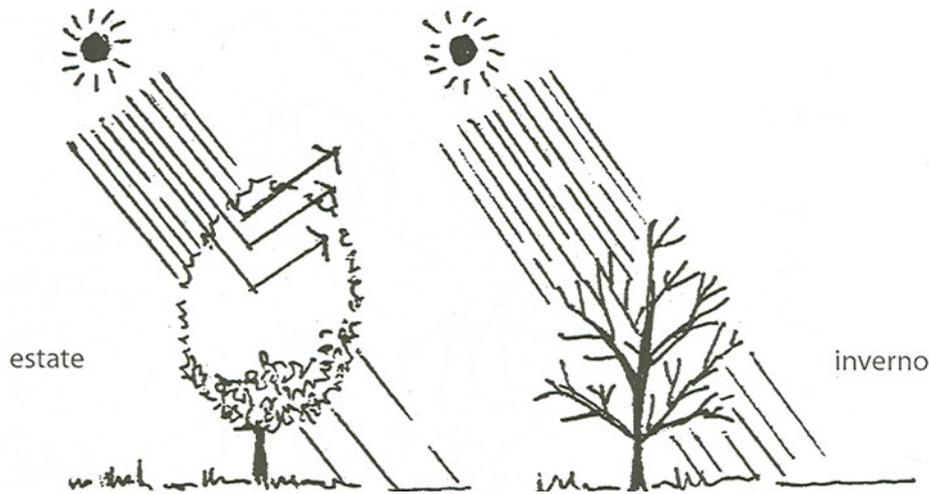


Edificio Holden, Tbilisi (GE)



# Schermi fissi e mobili

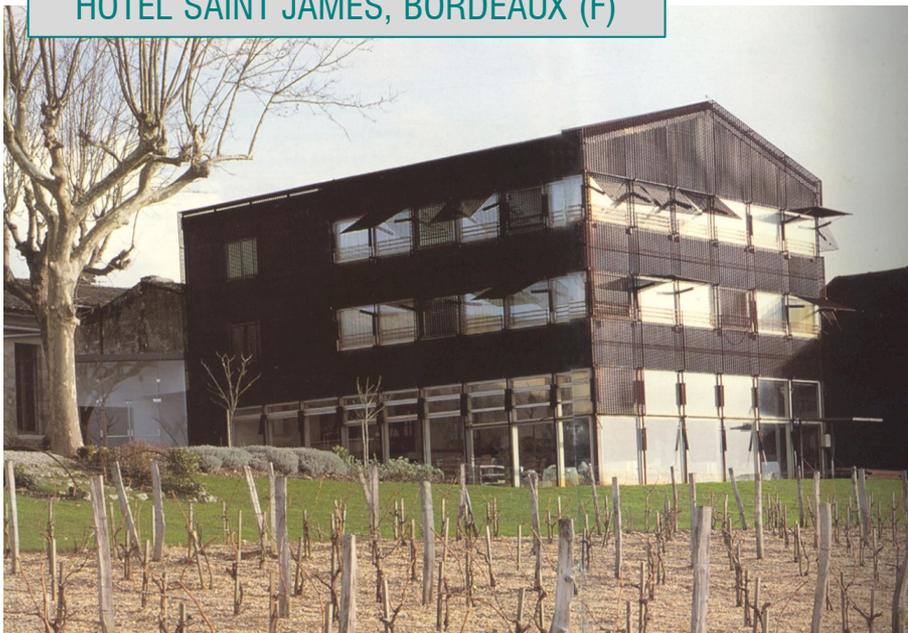
Anche la **vegetazione decidua** può essere considerata un sistema schermante: infatti la maggior parte delle piante segue l'andamento dell'**anno termico**, dato che le foglie cadono e si rigenerano in funzione della temperatura esterna. La vegetazione **modula** quindi la **trasmissione della radiazione** verso l'edificio in modo congeniale, presentando una serie di vantaggi, quali il basso costo, l'estetica ed il mantenimento della privacy.



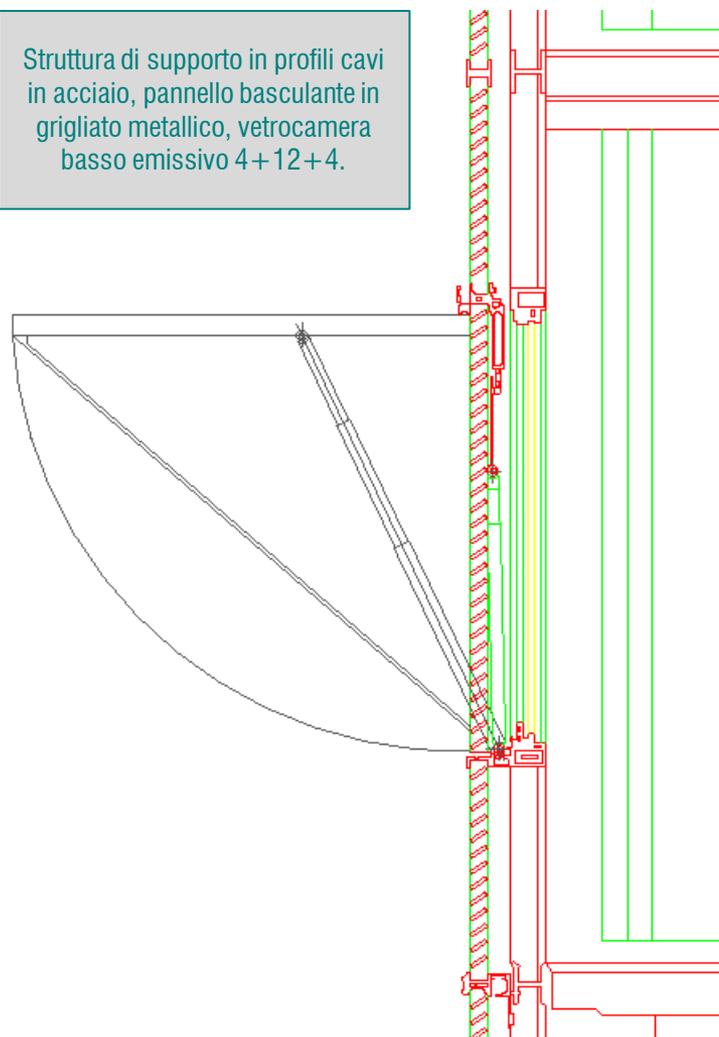
# Soluzioni tecnologiche

Tra le schermature esterne si annoverano anche gli avvolgibili, formati da lamelle rigide, adeguati nelle difficili esposizioni Est ed Ovest, dove intercettare la radiazione è necessario per metà giornata e dannoso per il periodo restante; e i sistemi schermanti rotanti su un asse orizzontale parallelo alla facciata.

HOTEL SAINT JAMES, BORDEAUX (F)



Struttura di supporto in profili cavi in acciaio, pannello basculante in grigliato metallico, vetrocamera basso emissivo 4+12+4.



# Soluzioni tecnologiche

L'installazione di una **schermatura esterna** porta ai seguenti benefici:

- l'**intercettazione dei raggi solari prima** che pervengano alla **superficie vetrata**. I raggi solari vengono principalmente riflessi verso l'esterno, in minor parte verso l'interno ed assorbiti dalla schermatura, che emette calore successivamente portato via tramite ventilazione naturale;
- la **riflessione controllata della luce solare**, correlata alla diffusione dell'illuminazione naturale degli ambienti.

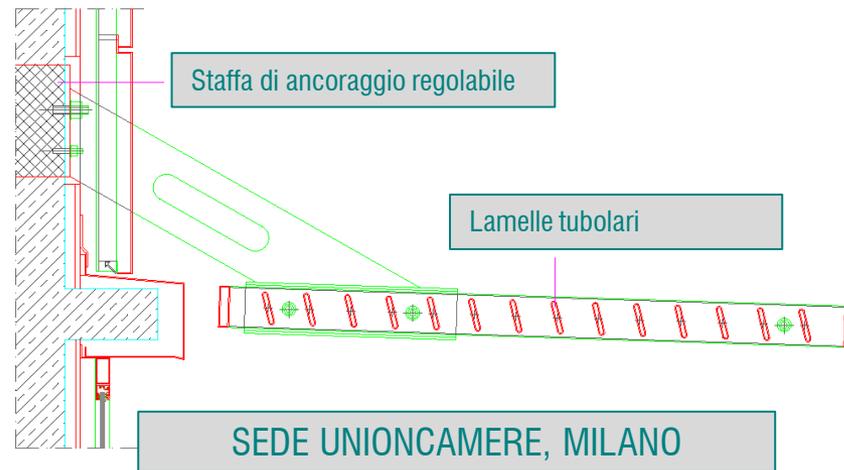
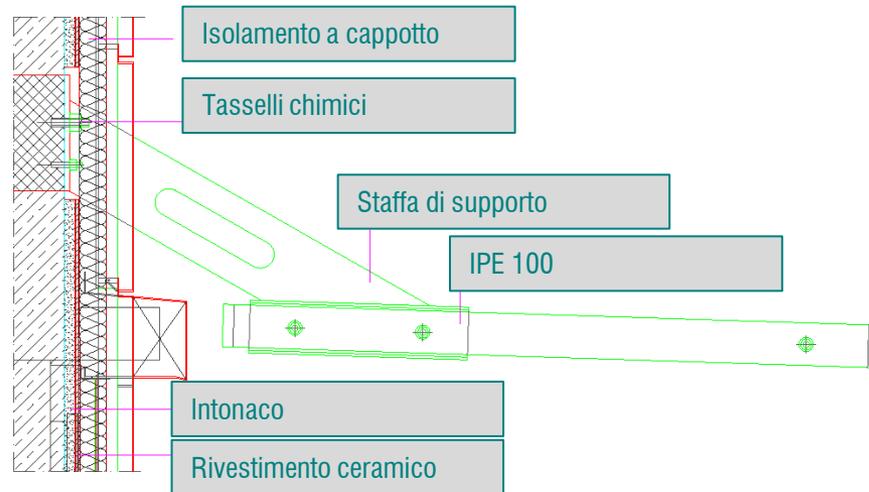
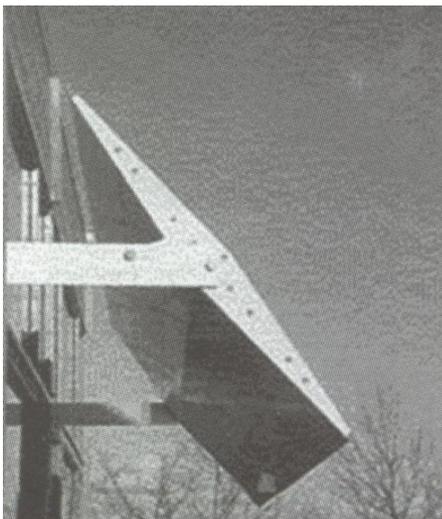
# 9



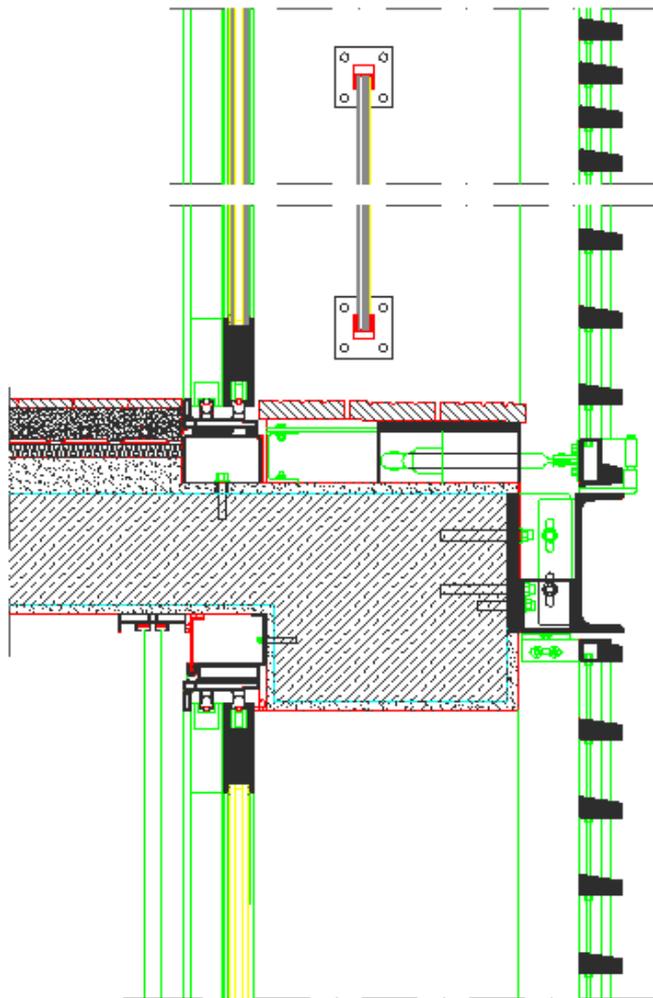
SEDE UNIONCAMERE, MILANO

# Soluzioni tecnologiche

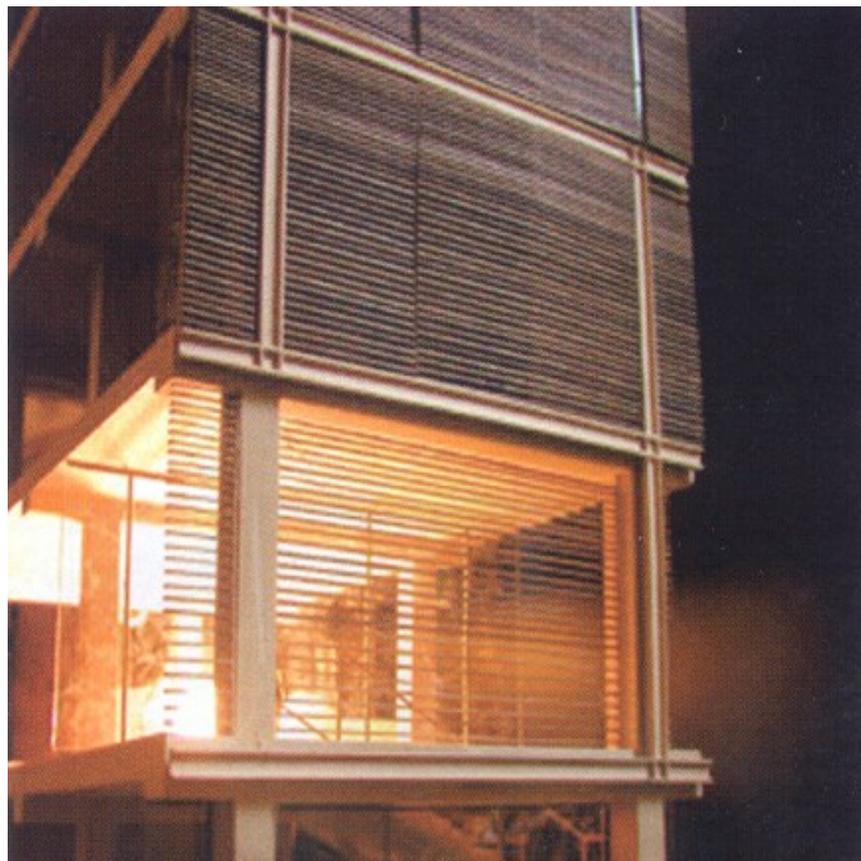
Gli aggetti sviluppati in senso **orizzontale** solitamente portano ad un **abbassamento della luminosità interna**, ma si possono anche impostare come dei **riflettori** che mandano la luce **verso il soffitto** (**lightshelf**), rendendo l'illuminazione più equilibrata. Un lightshelf è una schermatura orizzontale oppure inclinata, collocabile all'interno o all'esterno della superficie vetrata che, ombreggiando la finestra, riflette la luce verso il soffitto.



# Soluzioni tecnologiche

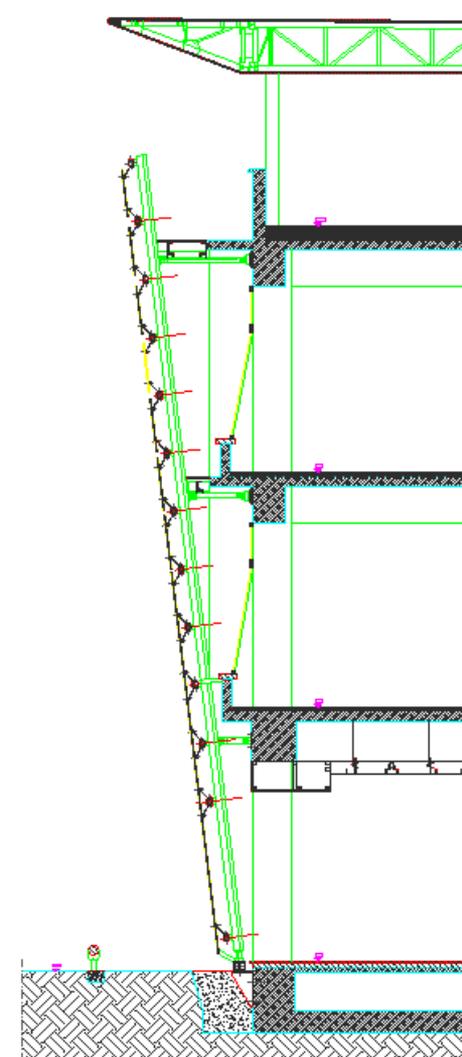
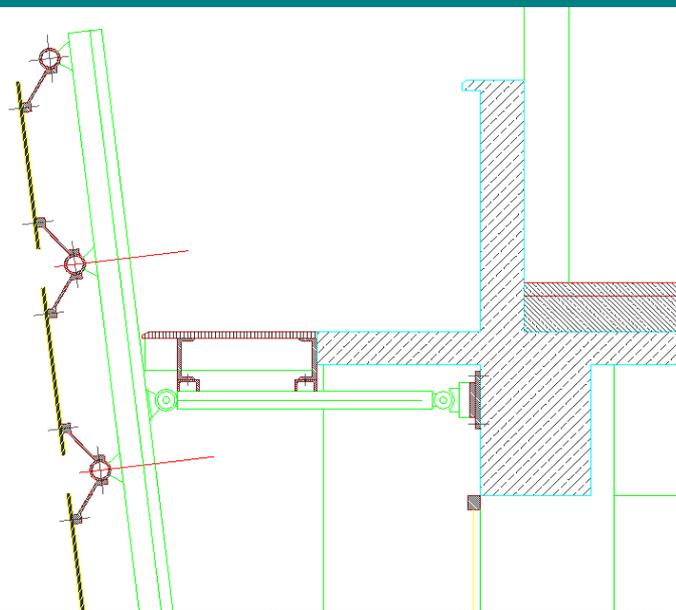


EX «CASA DI BIANCO», CREMONA

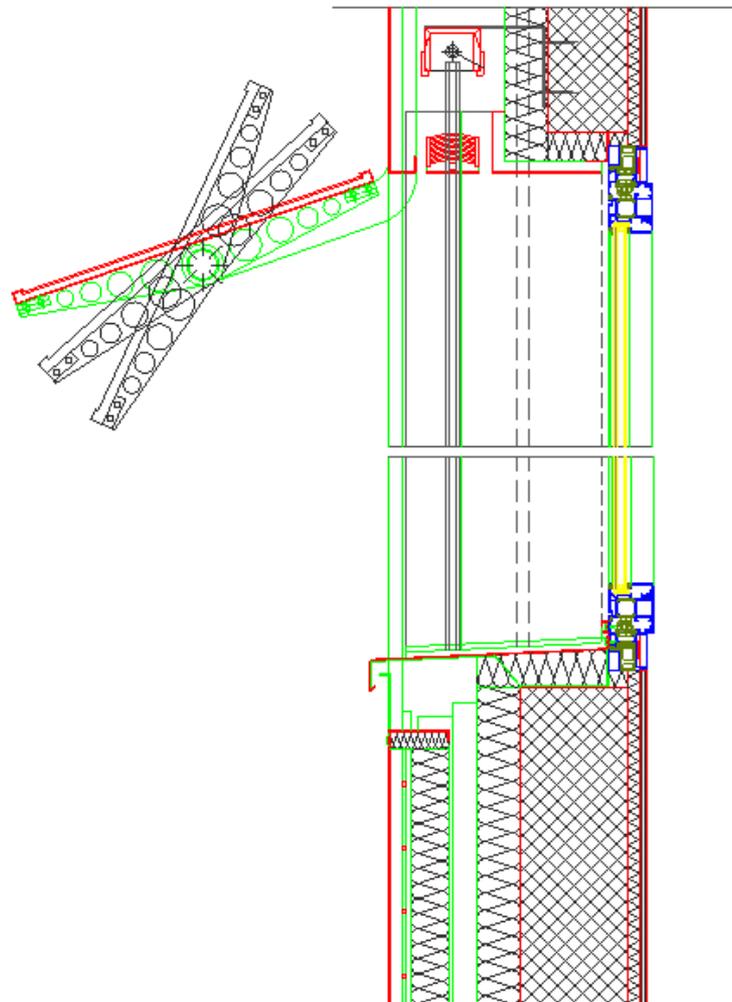


# Soluzioni tecnologiche

SEDE RENAULT,  
MILANO



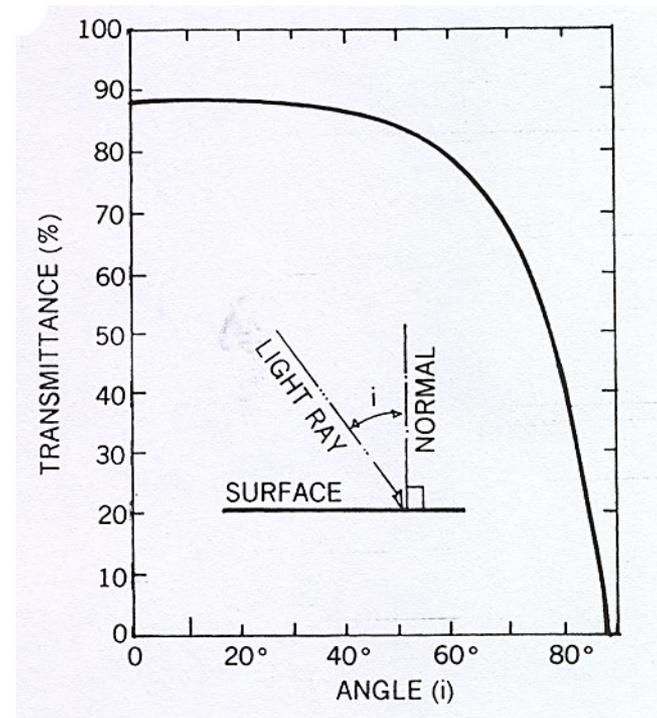
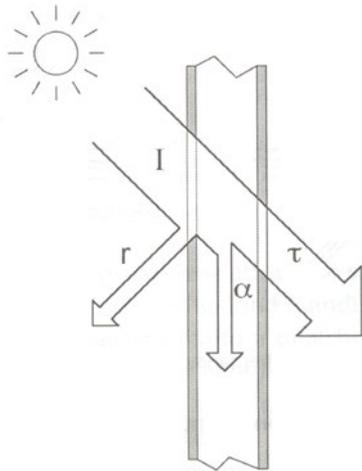
EDIFICIO SCOLASTICO,  
LUGANO (CH)



# Vetri a selettività angolare

**Nessun vetro**, per quanto sottile e chiaro, **permette** il **passaggio totale** della **radiazione solare**. Qualsiasi superficie che riceve la radiazione solare trasforma quest'ultima in tre componenti: **trasmessa** all'interno, **assorbita** e **riflessa** verso l'esterno. La frazione  $\alpha$  di energia assorbita **dipende** dall'eventuale **rivestimento** del **vetro** e dal **suo spessore**, mentre la frazione  $p$  riflessa dipende dalla **natura** della **superficie** e dall'**angolo di incidenza** della radiazione valutato rispetto alla normale alla superficie stessa.

Un vetro può bloccare la radiazione solare anche **sfruttando le leggi della riflessione**. Infatti la trasmittanza del vetro è funzione dell'angolo di incidenza formato tra il raggio solare e la normale alla superficie del vetro.



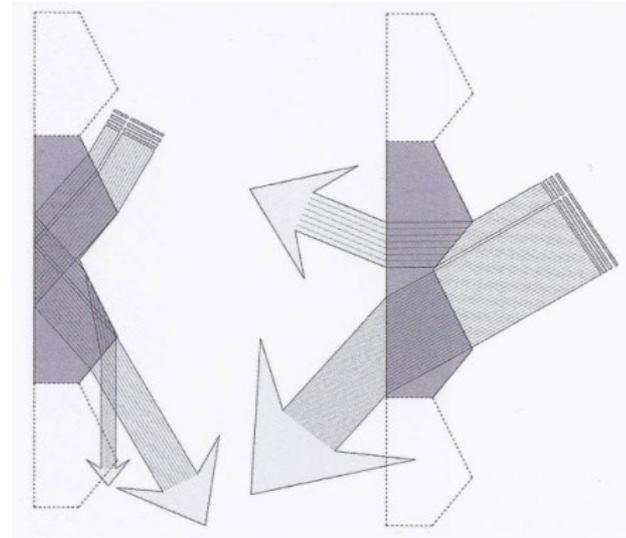
# Vetri a selettività angolare

I cosiddetti “**vetri di nuova generazione**” sono in grado di modificare in modo **dinamico** la **trasmissione luminosa** e **termica** della **radiazione solare** verso gli ambienti interni. Se un vetro dotato di un fattore solare  $g$  ridotto può essere considerato come uno schermo permanente, allora questi vetri possono essere definiti come **schermature solari a prestazione variabile**.

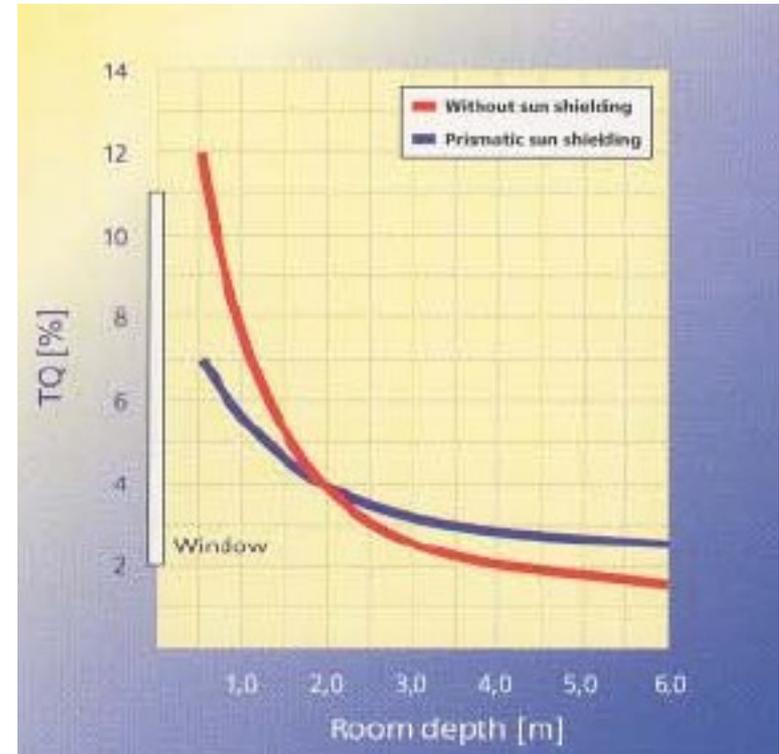
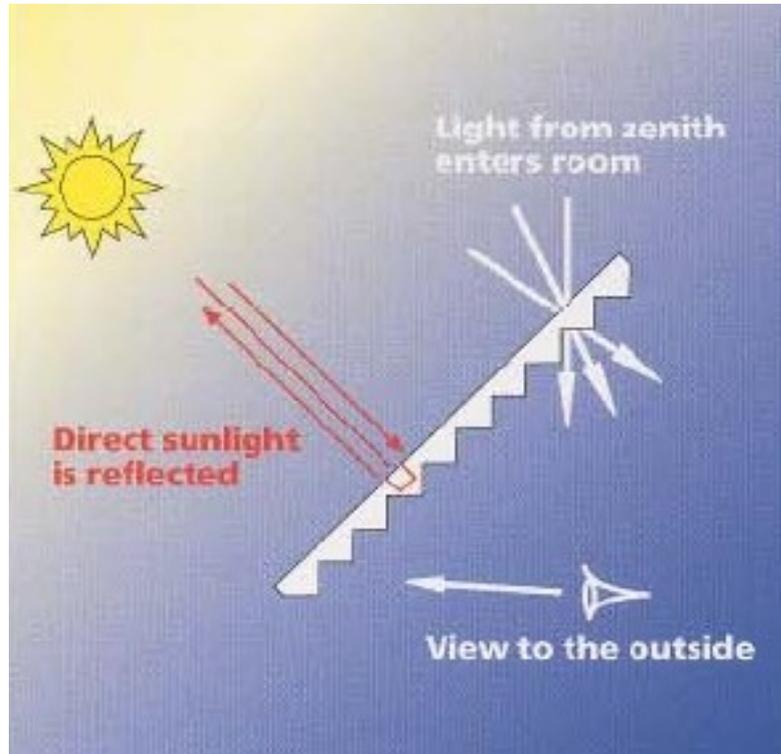
La prima categoria di **vetri selettivi** comprende i cosiddetti vetri a **selettività angolare**, che sfruttano principi geometrici per il direzionamento nella profondità degli ambienti della radiazione solare. È quindi possibile, in base all'angolo d'inclinazione della radiazione stessa, operare una selezione dei raggi escludendone una parte, che rimane all'esterno.

I **vetri prismatici** sono sistemi passivi capaci di produrre una **deflessione** della **radiazione** incidente avente un angolo di incidenza superiore a quello critico del dispositivo. La geometria del sistema permette la differenziazione delle prestazioni durante l'anno:

- nella stagione **estiva** i **raggi colpiscono** la **faccia superiore** del pannello, senza interagire con la faccia inferiore; essi sono dunque **rifratti** e infine **riflessi**;
- in **inverno**, i raggi solari incidono su **entrambe** le **facce del profilo**, cosicché la radiazione perviene all'ambiente evitandone un direzionamento verso le postazioni di lavoro e permettendo una maggiore **uniformità** d'illuminazione naturale.



# Vetri a selettività angolare



# Vetri a selettività angolare



**IN PRESENZA DI RADIAZIONE DIRETTA**



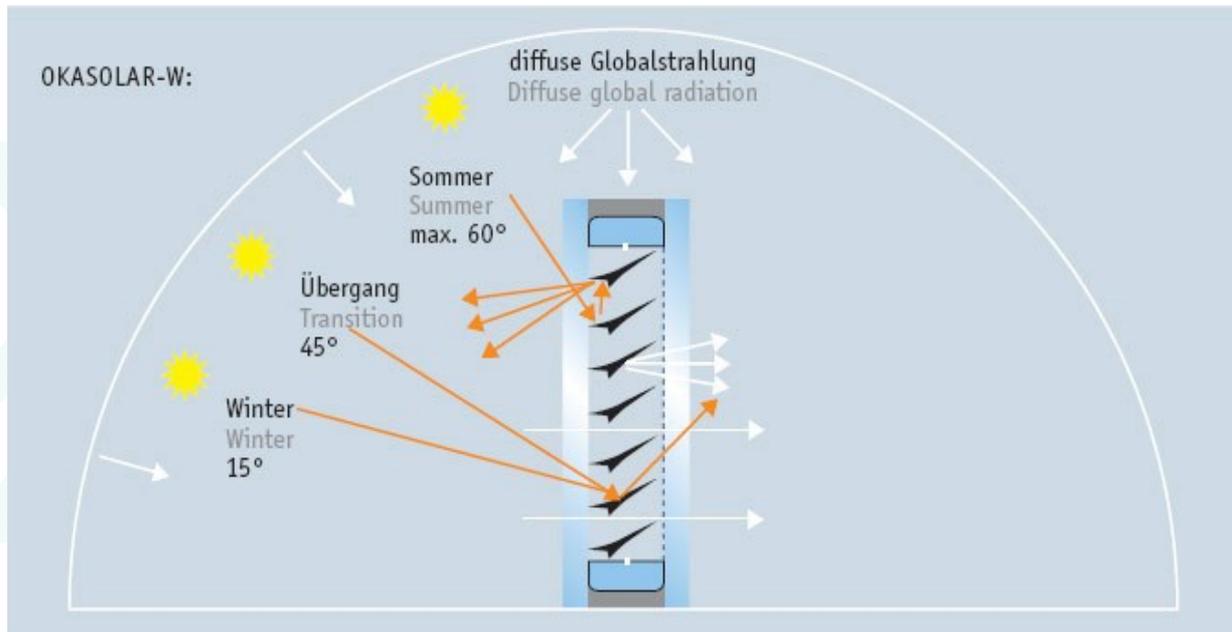
**IN ASSENZA DI RADIAZIONE DIRETTA**

# Vetri a selettività angolare

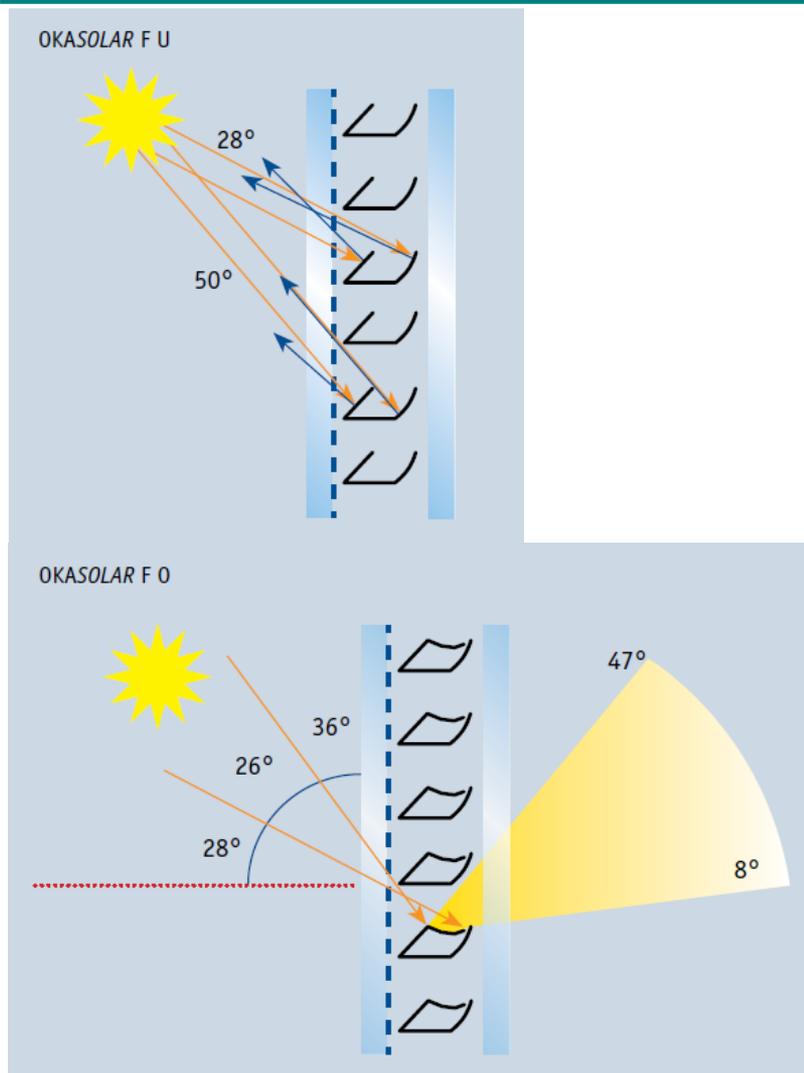
Un risultato simile è conseguibile inserendo dei **sistemi geometrici** per la deflessione dei raggi solari all'interno del serramento. La prima caratteristica distintiva di questi serramenti è lo **spessore**, ben superiore rispetto ad uno tradizionale; inoltre, la variabilità delle condizioni ottiche e luminose è garantita da una struttura univocamente identificabile. Opportuni profili di schermatura ottemperano a diverse necessità:

- la semplice **schermatura** della radiazione solare;
- una schermatura abbinata alla **deviazione verso l'alto della radiazione** stessa, al fine di incrementare **l'uniformità di illuminazione** nell'ambiente;
- l'abbinamento delle due precedenti funzioni alla riflessione verso l'esterno della radiazione solare.

Il sistema è costituito da due lastre in vetro termico in cui sono inserite delle lamelle metalliche fisse.



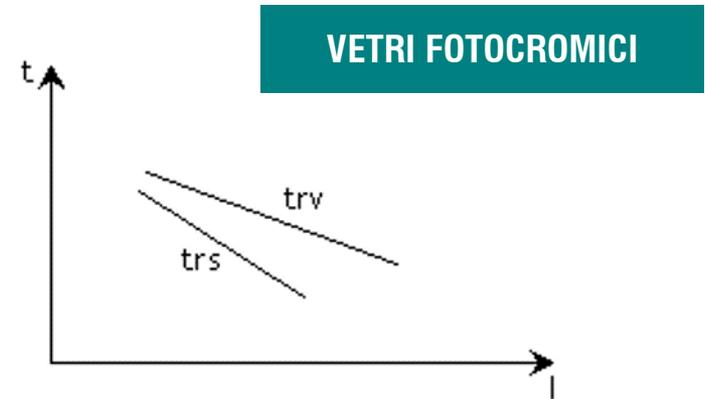
# Vetri a selettività angolare



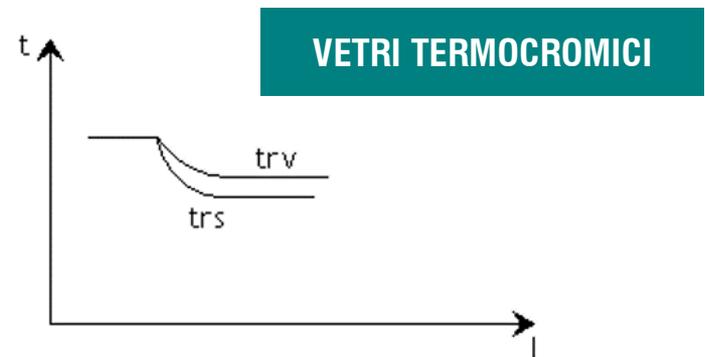
# Vetri a trasmissione variabile

Esposti alla luce solare, i vetri **fotocromici** assumono una **forte colorazione**, che perdono al termine della fase di irraggiamento diretto; viene modificata la trasmissione luminosa **a seconda della quantità di luce** che viene ad incidere sulla superficie del vetro, grazie all'**inserimento nella pasta di vetro di alogenuri di argento sensibili ai raggi ultravioletti**. L'impiego dei vetri fotocromici nell'edilizia è limitato dalla sensibilità che questi materiali hanno nei confronti della temperatura ambiente.

I vetri **termocromici** hanno invece la capacità di modificare l'assorbimento della luce **rendendosi opachi al di sopra di una certa temperatura critica**, dipendente dal tipo di prodotto (10 - 90 °C); **all'abbassarsi della temperatura, il vetro torna ad essere trasparente**. Questa proprietà è resa possibile **rivestendo la lastra di vetro con un ossido di tungsteno o di vanadio**; il **passaggio all'opacità avviene in modo immediato**, senza alcuna gradualità.



**trv: trasmissione radiazione visibile**  
**trs: trasmissione radiazione solare**



# Vetri a trasmissione variabile

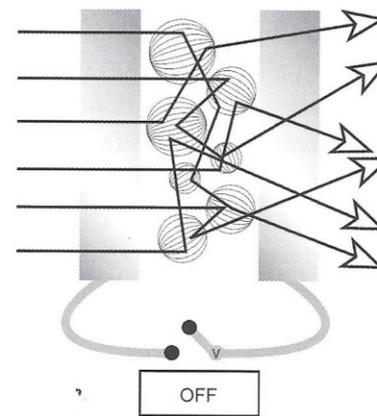
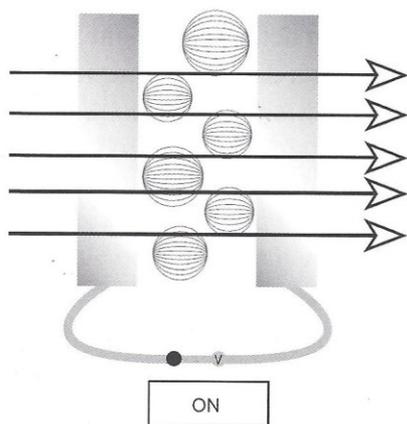
Anche i **vetri elettrocromici** offrono una trasmissione luminosa variabile, alla **ricezione** di un **impulso elettrico**. Il campo elettrico che viene a crearsi serve essenzialmente per permettere il **cambiamento di fase** da **trasparente** ad **opaco** e viceversa; inoltre non è necessario mantenere attivo questo campo per conservare lo stato appena raggiunto.

Nei vetri a **crystalli liquidi**, interposto tra le lastre di vetro viene messo un **film** dotato di una serie di **cavità sferiche** contenenti appunto **crystalli liquidi**.

In assenza di corrente, questi si **dispongono** in **modo casuale** diffondendo la luce incidente e **bloccando la vista** attraverso di essi.

Creando un **campo elettrico** (di tensione intorno ai 100 V) tra le superfici esterne del film, i **crystalli** si **posizionano ordinatamente** rendendo il vetro **trasparente**; il passaggio avviene in un tempo pari circa a 10 centesimi di secondo, ma **la tensione elettrica va mantenuta per tutto il tempo** per cui si vuole garantire la trasparenza del vetro.

9



# 9.6

---

## **Efficacia dell'illuminazione naturale**

# Illuminazione naturale

La condizione di **comfort visivo** negli ambienti interni è ottenibile mediante il corretto impiego della luce naturale, tenendo conto degli **effetti** che essa produce **sull'utenza** nelle sue forme diretta e diffusa. È possibile individuare alcuni fattori di benessere visivo:

- **prestazione visiva**, ossia la qualità e l'accuratezza richieste per lo svolgimento di una determinata attività, o compito visivo;
- **gradevolezza** dell'ambiente, in riferimento alla sensazione generale percepita dall'utenza all'interno di un locale, in dipendenza dalle caratteristiche dello spazio e dalla qualità dell'illuminazione fornita.

## OBIETTIVI DELLA PROGETTAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE DEGLI AMBIENTI

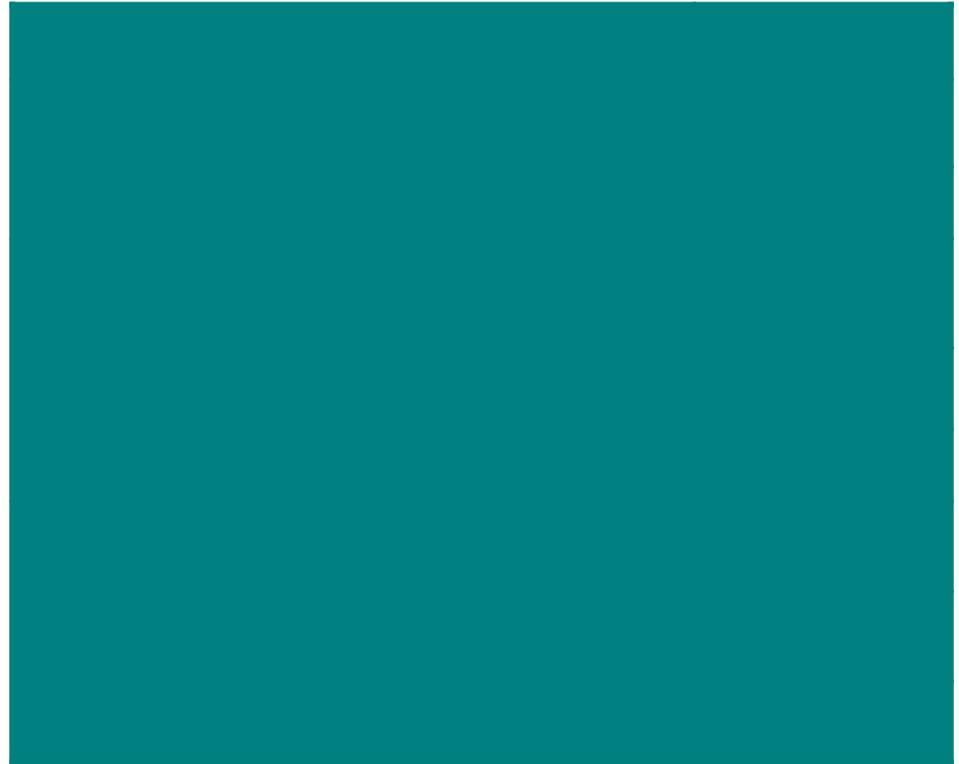


# Valutazione dell'illuminazione naturale

La determinazione dei livelli di illuminazione minimi per gli organismi edilizi residenziali, in particolare per gli spazi primari, è tutt'ora affidata al **Decreto Ministeriale 5 luglio 1975**.

All'articolo 5 è stabilito che nei locali di abitazione, ad eccezione di quelli destinati a servizi igienici, disimpegni, corridoi, vani scale, ripostigli (fascia funzionale secondaria), **il valore minimo per il fattore medio di luce diurna sia fissato al 2%, e comunque si impone che l'area della superficie finestrata apribile non sia comunque inferiore a 1/8 della superficie utile del pavimento**; la legge fa dunque esplicito riferimento al cosiddetto **rapporto aeroilluminante**, nel quale a numeratore compare la superficie apribile (associabile alla ventilazione) e non la superficie trasparente.

È opportuno evidenziare che non tutte le norme che disciplinano l'edilizia residenziale (ad esempio i Regolamenti Edilizi) richiamano la prima condizione, relativa al fattore medio di luce diurna, limitandosi ad introdurre la seconda sul rapporto aeroilluminante.



# Valutazione dell'illuminazione naturale

La Circ. M. LL. PP. N. 3151/1967 definisce il Fattore Medio di Luce Diurna FLDM secondo l'espressione:

$$FLD_M = \frac{A_g \cdot \tau \cdot \varepsilon \cdot \psi}{S_{TOT} \cdot (1 - \rho_M)} [\%]$$

in cui compaiono:

- la sola **superficie trasparente** della chiusura  $A_g$ ;
- la **trasmissione luminosa**  $\tau$  del vetro;
- il **fattore finestra**  $\varepsilon$  relativo alla porzione di volta celeste visibile dalla finestra (effetto delle ostruzioni);
- il **fattore**  $\psi$  che tiene conto **dell'arretramento della superficie trasparente** rispetto al filo esterno della chiusura opaca;
- l'area totale  $S_{TOT}$  delle **superfici interne** che delimitano il volume del locale;
- il **coefficiente medio pesato di riflessione**  $\rho_M$  delle superfici interne.

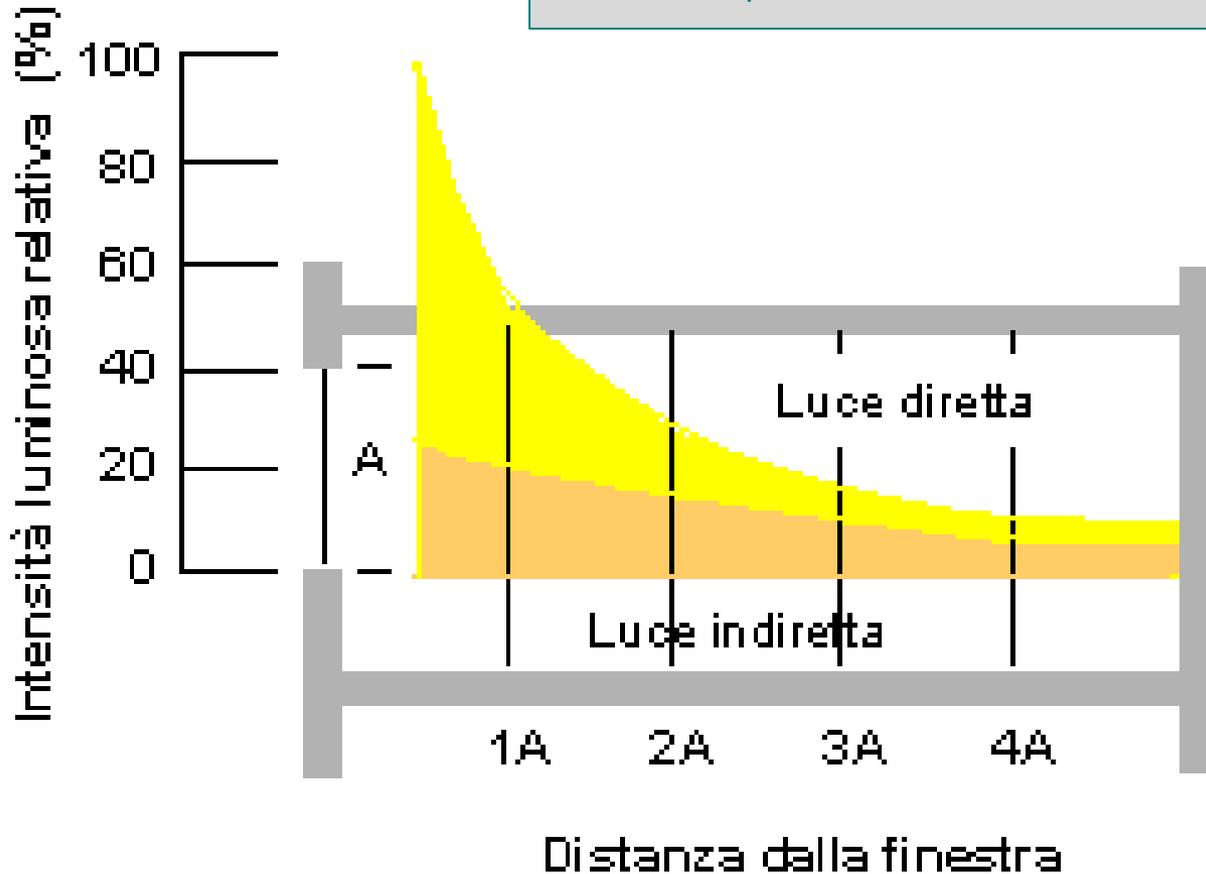
Altri decreti stabiliscono i valori minimi del fattore medio di luce diurna da garantire per edifici a destinazione d'uso diversa da quella residenziale. Si citano in merito:

- la Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 13011/1974, che stabilisce alcuni requisiti per gli organismi edilizi ospedalieri;
- il Decreto Ministeriale 18/12/1975 per l'edilizia scolastica.

Il  $FLD_M$  è una grandezza deputata alla valutazione della **qualità dell'illuminazione naturale** in un punto dell'ambiente confinato e **diminuisce all'aumentare della distanza dalla finestra**; indica sostanzialmente il rapporto intercorrente tra l'illuminamento  $E_i$  nel punto e quello che si manifesta nello stesso istante su un piano orizzontale  $E_e$  posto all'esterno, illuminato dalla volta celeste in assenza di ostruzioni.

# Valutazione dell'illuminazione naturale

Il Fattore di Luce Diurna FLD varia in ogni punto dell'ambiente e diminuisce esponenzialmente all'aumentare della distanza dalla finestra.

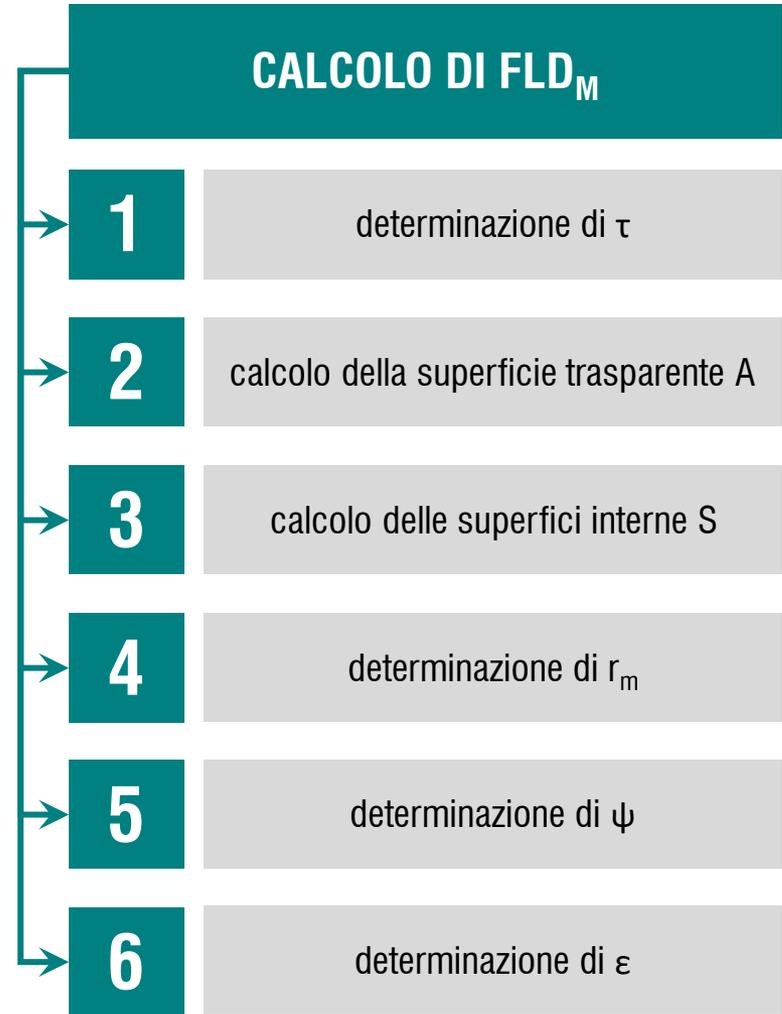


# Valutazione dell'illuminazione naturale

Il  $FLD_M$  si riferisce ad un **piano** che si trova a **0,85 ml** di **quota** rispetto al **pavimento (tavolo di lavoro)** e dista circa 1 ml dalla chiusura trasparente.

Il metodo di calcolo che fa riferimento al  $FLD_M$  è applicabile nel caso in cui si verificano entrambe le condizioni seguenti:

- spazi di forma regolare con profondità, misurata ortogonalmente al piano della finestra, non superiore a 2,5 volte la distanza tra la quota del pavimento e la quota più alta del componente trasparente dell'infisso;
- finestra giacente su un piano verticale.



# Valutazione dell'illuminazione naturale

1



# Valutazione dell'illuminazione naturale

2

Si calcola, attraverso relazioni geometriche, la superficie trasparente  $A$  della chiusura trasparente in funzione del telaio installato.

3

Si calcola la somma delle superfici interne  $S$  dell'ambiente da valutare (pavimento, soffitto e pareti interne ed esterne comprese le finestre).

4

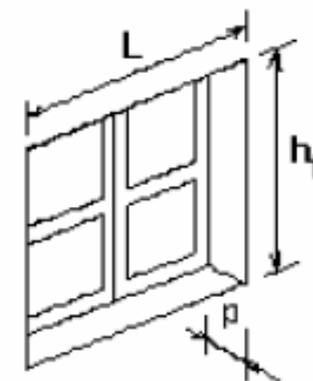
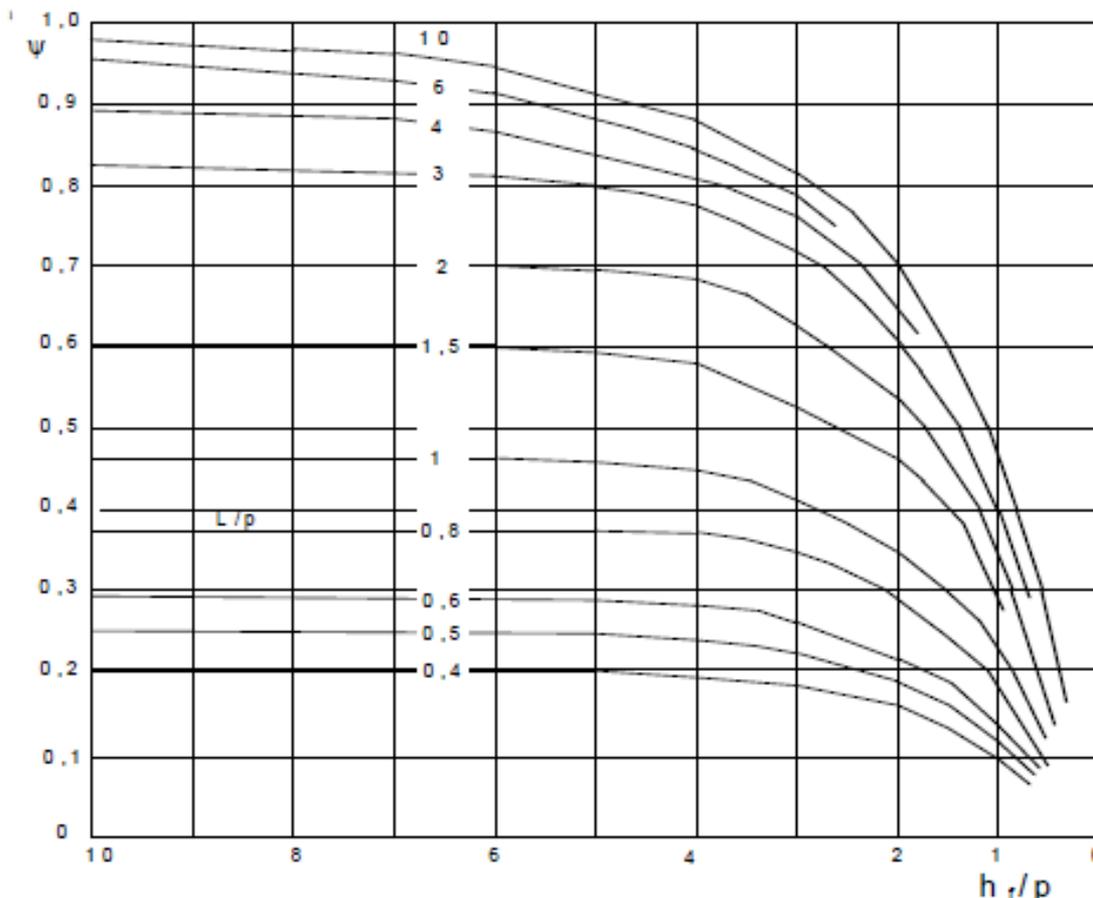
Si calcola il coefficiente di riflessione medio  $r_m$  come media pesata dei coefficienti di riflessione delle singole superfici interne dell'ambiente.

Materiale e natura della superficie	Coefficiente di riflessione luminosa
Intonaco comune bianco (latte di calce o simili) recente o carta	0,8
Intonaco comune o carta di colore molto chiaro (avorio, giallo, grigio)	0,7
Intonaco comune o carta di colore chiaro (grigio perla, avorio, giallo limone, rosa chiaro)	$0,6 \div 0,5$
Intonaco comune o carta di colore medio (verde chiaro, azzurro chiaro, marrone chiaro)	$0,5 \div 0,3$
Intonaco comune o carta di colore scuro (verde oliva, rosso)	$0,3 \div 0,1$
Mattone chiaro	0,4
Mattone scuro, cemento grezzo, legno scuro, pavimenti di tinta scura	0,2
Pavimenti di tinta chiara	$0,6 \div 0,4$
Alluminio	$0,8 \div 0,9$

# Valutazione dell'illuminazione naturale

5

Si determina  $\psi$  mediante normogramma.



ascisse:  $h_f / p$

ordinate:  $\psi$

curve:  $L / p$

# Valutazione dell'illuminazione naturale

6

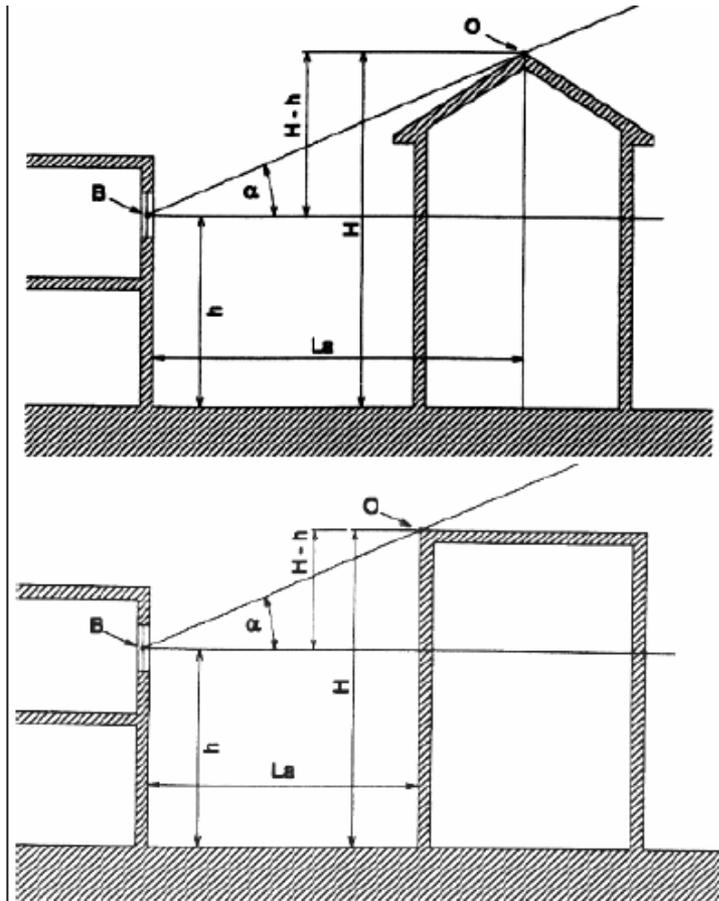
Si determina il fattore finestra  $\varepsilon$  in base alle ostruzioni presenti. Si individuano dapprima le ostruzioni presenti sulla chiusura, siano esse esterne o aggettanti. Nel caso in cui non vi siano ostruzioni,  $\varepsilon = 1$ .

$$\varepsilon = \frac{1 - \sin \alpha}{2}$$

$h$  = altezza dal baricentro B della finestra al piano stradale

$H$  = altezza del fabbricato contrapposto dal piano stradale

$L_a$  = distanza tra il fabbricato contrapposto (o comunque dell'ostacolo) e la finestra



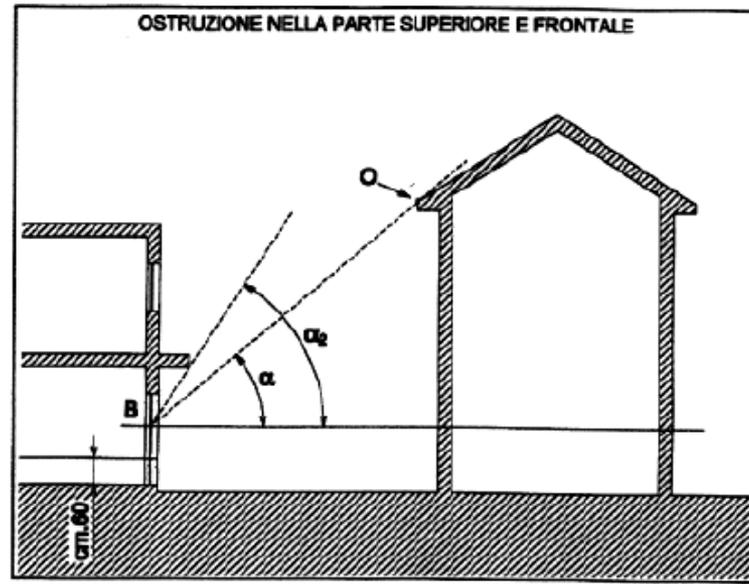
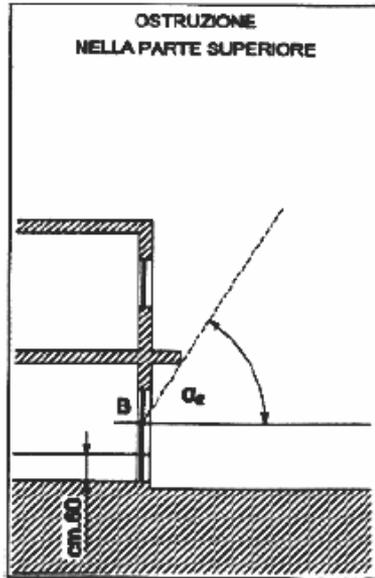
# Valutazione dell'illuminazione naturale

6

Si determina il fattore finestra  $\varepsilon$  in base alle ostruzioni presenti. Si individuano dapprima le ostruzioni presenti sulla chiusura, siano esse esterne o aggettanti. Nel caso in cui non vi siano ostruzioni,  $\varepsilon = 1$ .

$$\varepsilon = \frac{\sin \alpha_2}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\sin \alpha_2 - \sin \alpha}{2}$$



# Soluzioni per l'illuminazione naturale

Diversi sono i fattori che influenzano l'efficacia dell'illuminazione naturale, sia in termini di organizzazione spaziale che di soluzioni tecnologiche.

Per l'aspetto spaziale sono significativi:

- il mutuo **rappporto** tra gli **edifici**;
- la **forma volumetrica** complessiva dell'organismo edilizio;
- **l'altezza** e la **profondità** degli **ambienti**;
- **l'orientamento**, la **dimensione** e la **posizione** delle **superfici trasparenti** rispetto alle superfici da illuminare.

La geometria complessiva di un organismo edilizio comporta una conflittualità tra l'esigenza di illuminazione naturale e la necessità di contenere i consumi energetici nell'edificio. Si è visto infatti che il primo e basilare strumento per il controllo delle dispersioni termiche risiede nel conferimento di una forma compatta all'organismo edilizio, in modo da garantire un rapporto di forma S/V basso.

La penetrazione della luce naturale è invece favorita dall'articolazione planivolumetrica dell'edificio, così da disporre di una maggiore superficie per l'inserimento di aperture trasparenti.

Per quanto riguarda la configurazione delle aperture, è possibile individuare tre schemi ricorrenti in merito alla provenienza della luce e, quindi alla disposizione delle aperture.



# Sidelighting

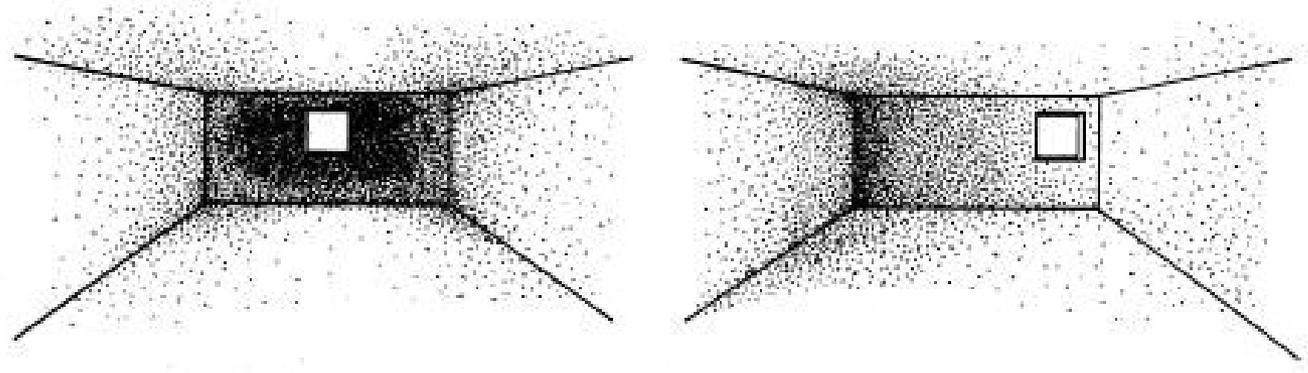
Una chiusura trasparente con giacitura verticale trasmette luce prevalentemente **diffusa** e **riflessa** (dal terreno e dalle superfici circostanti), in quanto la radiazione diretta perviene all'ambiente solo quando il sole è visibile attraverso la chiusura stessa.

L'efficacia dell'illuminazione è decisamente **influenzata dall'esposizione** che caratterizza i fronti dell'organismo edilizio.

Le aperture con orientazione **Sud** permettono una maggiore **flessibilità** di **controllo** della trasmittanza luminosa e della trasmittanza termica.

La modulazione degli apporti luminosi diviene più complessa per esposizioni **Est** ed **Ovest**: Il **sole**, in tarda primavera e in estate, **transita** su queste esposizioni con **altezza contenuta**. La modulazione della radiazione deve avvenire prevedendo **schermature mobili**, a sviluppo preferibilmente verticale, oppure ricorrendo a superfici trasparenti diffondenti.

9



# Toplighting

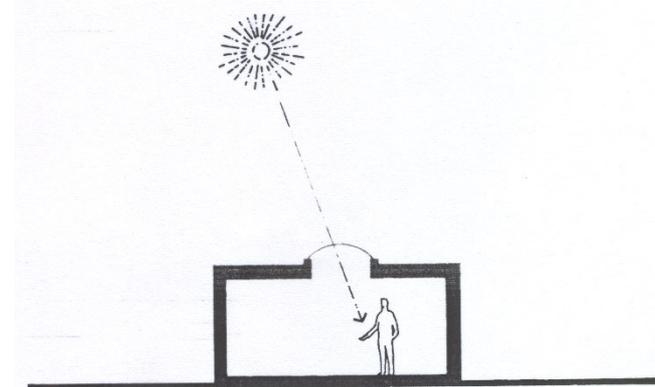
L'illuminazione dall'alto o zenitale (**toplighting**) ben si presta agli **ambienti lavorativi**, in quanto la **luce perviene** primariamente sul **piano orizzontale**. La giacitura delle aperture in sommità consente di superare la criticità delle aperture laterali (profondità di penetrazione della luce) e di fruire di una maggiore disponibilità di luce esterna, dovuta ad una più ampia visuale del cielo.

Sono però immediatamente riscontrabili tre **criticità**:

- l'illuminazione dall'alto è **fruibile solo al livello superiore** dell'edificio, a meno di non ricorrere ad un ambiente di altezza multipla;
- la luce proveniente dall'alto può colpire un operatore prima di raggiungere un piano di lavoro, rendendo **problematica** la **visione** e vanificando la possibilità di ottenere un illuminamento funzionale;
- le aperture zenitali **non consentono** di godere della **vista verso l'esterno**, per cui dovrebbero comunque essere integrate da aperture con giacitura verticale.

Sulla base di queste osservazioni, l'illuminazione zenitale è prevista solo per **sostituire** di una non realizzabile illuminazione laterale; l'illuminazione dall'alto può inoltre rendersi necessaria in ambienti caratterizzati da **notevole altezza**.

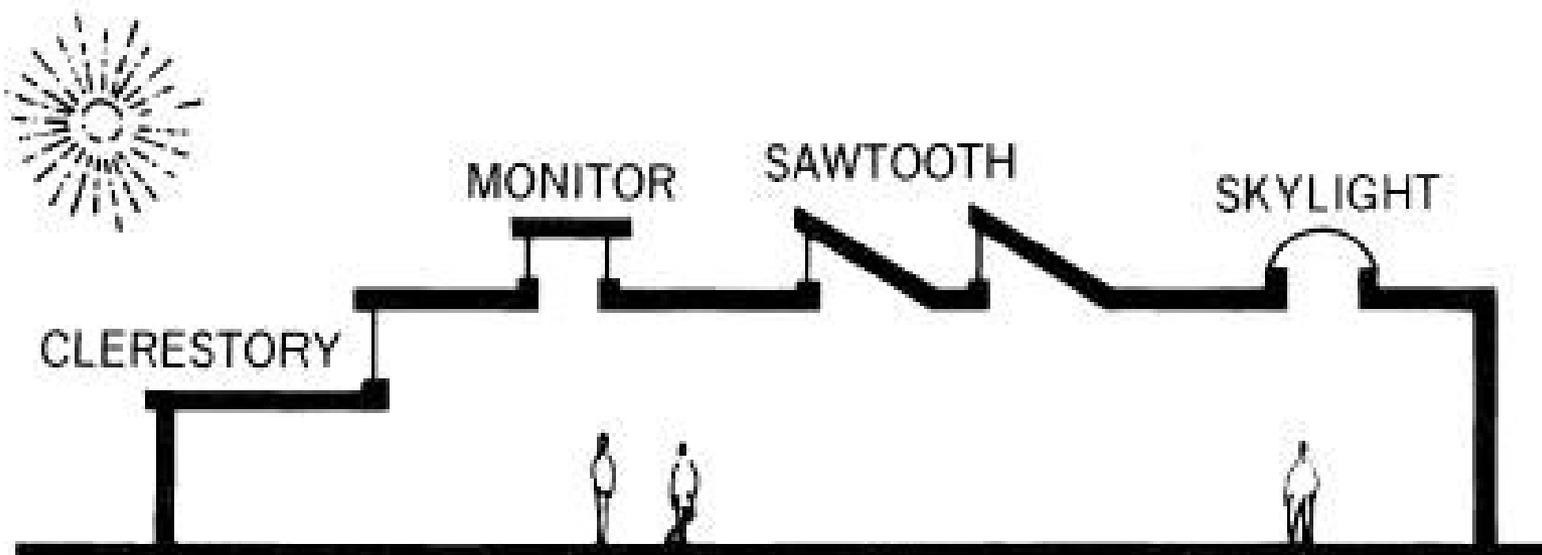
Il dimensionamento delle aperture zenitali deve tenere conto delle implicazioni nell'ambito del comfort termico. Le chiusure superiori sono maggiormente **esposte al sole estivo**, generando un **carico termico indesiderato**; queste aperture, poi, sono di solito prive di elementi schermanti esterni.



# Toplighting

Risulta quindi opportuno ricorrere a particolari **configurazioni** delle aperture poste in copertura, accomunate dalla **disposizione verticale** dell'elemento trasparente. Queste speciali configurazioni sono assimilabili ad aperture verticali poste nella porzione superiore di una chiusura verticale.

A parità di superficie trasparente, la disposizione geometrica delle aperture può privilegiare la porzione centrale del locale da illuminare, o il suo perimetro. La prima disposizione, rispetto alla seconda, comporta una minore uniformità di illuminamento nel locale, a un minore costo d'installazione.



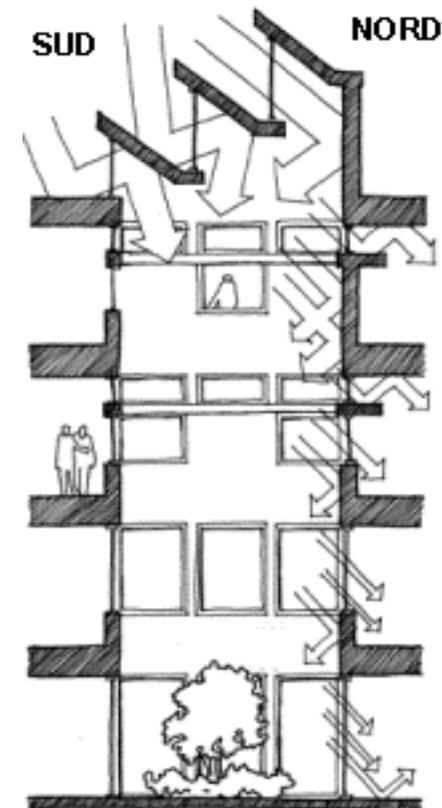
# Corelighting

Il concetto di **corelighting** fa necessariamente riferimento ad uno **spazio interno** che interseca e **connette visivamente** tutti i **livelli** di un edificio. Se tale spazio ad altezza multipla è chiuso in sommità da una superficie trasparente, è definito atrio.

Le funzioni assolve da un **atrio** sono molteplici; oltre a garantire l'illuminazione indiretta di spazi non direttamente affacciati verso l'esterno, permette di instaurare **meccanismi di ventilazione naturale**, e si configura come **spazio di relazione**.

L'effetto di convogliamento della luce zenitale verso i livelli più bassi si può garantire conferendo all'atrio una sezione a tronco di piramide e, in alternativa o in sinergia, prevedendo **superfici chiare** nei livelli più alti allo scopo di **dirigere la luce verso il basso**; tale soluzione deve però essere resa priva di situazioni di abbagliamento. Si richiamano inoltre le stesse problematiche viste per il concetto di *toplighting* per quanto riguarda il possibile **surriscaldamento estivo**.

È opportuno che le superfici trasparenti poste in sommità siano apribili per consentire l'asportazione, per ventilazione notturna ed effetto camino, del calore accumulatosi durante il giorno.

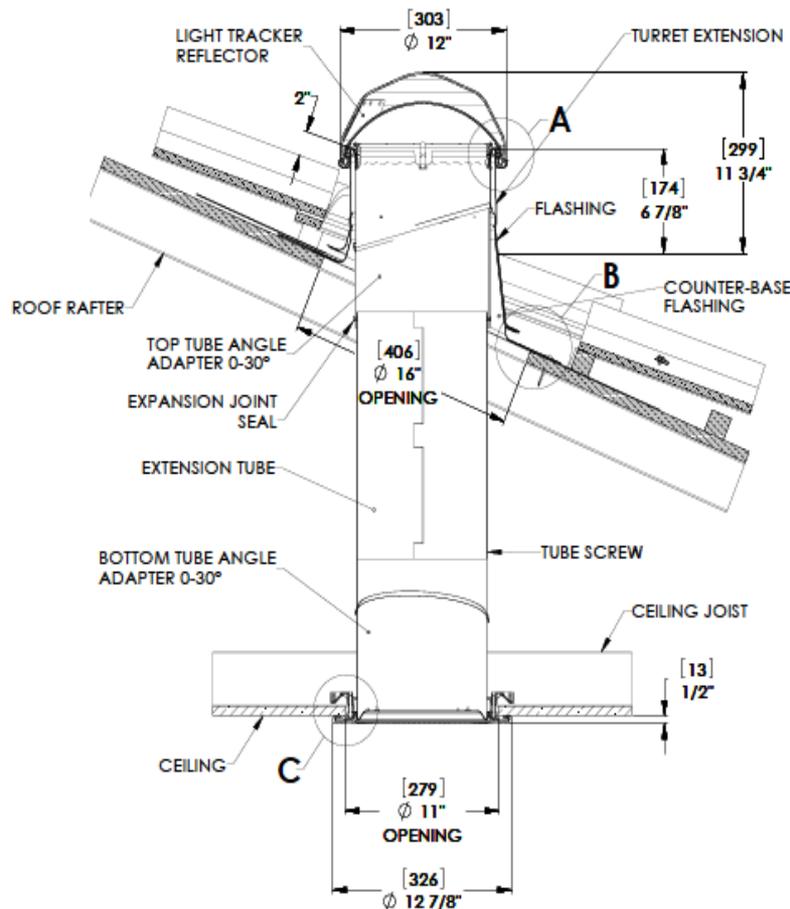


# Convogliamento della luce - lightpipe

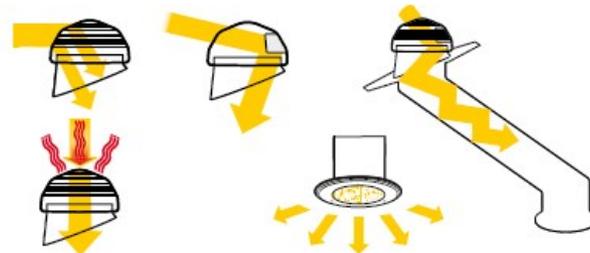
I **condotti luminosi**, detti anche **sistemi anidolici**, consentono la captazione della luce naturale ed il suo convogliamento in ambienti confinati a ridotta illuminazione o non sono dotati di aperture sui fronti.

Un sistema di conduzione della luce solare è solitamente costituito da un dispositivo di norma fisso, detto **eliostato**, che capta la luce grazie ad un insieme di specchi; la luce, attraversando un sistema di trasporto dotato di **superfici altamente riflettenti** (quali argento, alluminio, pellicole microprismatiche o vernici riflettenti), perviene ai locali.

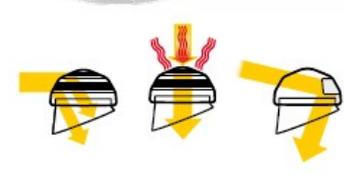
I condotti luminosi sono adatti a fornire l'illuminazione all'interno di **edifici multipiano**, tenendo conto che l'efficienza del sistema dipende dalla configurazione geometrica e **distributiva** dei condotti solari stessi: **l'intensità luminosa trasmessa**, infatti, **diminuisce** in **proporzione** alla **lunghezza** del **condotto**. Il condotto termina con un diffusore applicato al soffitto che traduce la luce nell'ambiente confinato in modo diffuso.



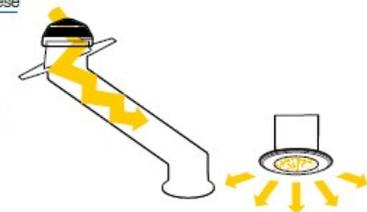
# Convogliamento della luce - lightpipe



Solotube 330 DS



Solotube 750 DS



# Bibliografia

- Lechner N., *Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects*, 4a ed. John Wiley & sons Incorporated, New York, 2001. ISBN: 978-04-700-4809-2.
- Tortorici G. (a cura di), *Architettura Tecnica*. Edizioni Alinea, Firenze, 2012.
- Brunoro S., *Efficienza energetica delle facciate*. Maggioli Editore, Rimini, 2008. ISBN: 8838736810.
- Bazzocchi F. (a cura di), *Facciate ventilate*. Architettura, prestazioni e tecnologia. Alinea Editrice, Firenze, 2002. ISBN: 978-88-8125-628-2.
- Wienke U., *Aria calore luce – Il comfort ambientale negli edifici*. Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005. ISBN: 884961441.
- Ciaramella A., Tronconi O., *Qualità e prestazioni degli edifici*. Gruppo Editoriale il Sole 24 ore, Milano, 2011.
- Dassori E., Morbiducci R., *Costruire l'architettura - Tecniche e tecnologie per il progetto*. Edizioni Tecniche Nuove, Milano, 2010. ISBN 978-88-481-2298-6.
- Fiorito F., *Involucro edilizio e risparmio energetico*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2009. ISBN: 978-88-7758-863-0.
- Trevisi A. S., Laforgia D., Ruggiero F., *Efficienza energetica in edilizia*. Maggioli Editore, Rimini, 2006. ISBN: 978-88-387-3824-6.
- Brunetti G. L., *Serramenti e vetrazioni. Tecnologie materiali dettagli*. Wolters Kluwer Italia, 2012. ISBN: 978-88-6750-039-0.
- [www.alpac.it](http://www.alpac.it)
- [www.solatube.com](http://www.solatube.com)
- [www.okaluxna.com/okasolar/](http://www.okaluxna.com/okasolar/)
- [www.domusweb.it](http://www.domusweb.it)
- [www.focchi.it](http://www.focchi.it)
- [www.merlosrl.com](http://www.merlosrl.com)
- [www.infinitymotion.com](http://www.infinitymotion.com)