



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583489
cstival@units.it

ARGOMENTO

15

22 MARZO 2023

**Utilizzo passivo di fonti rinnovabili
per i servizi energetici dell'edificio**

Raffrescamento

A. A. 2022-2023
Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura**
Corso di **Tecnologie e soluzioni edilizie**
per la **sostenibilità ambientale**

Classificazione delle esigenze: URR

classe	esigenze	requisiti	
URR. Uso razionale delle risorse	Utilizzo razionale dei materiali da costruzione	URR.1.1	Utilizzo di materiali, elementi e componenti riciclati
		URR.1.2	Utilizzo di materiali, elementi e componenti aventi potenziale di riciclabilità
		URR.1.3	Utilizzo di tecniche costruttive per il disassemblaggio a fine vita
		URR.1.4	Utilizzo di materiali, elementi e componenti caratterizzati da un'elevata durabilità
	Utilizzo razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti	URR.2.1	Raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani
	Utilizzo razionale delle risorse idriche	URR.3.1	Riduzione del consumo di acqua potabile
		URR.3.2	Recupero, per usi compatibili, delle acque meteoriche
	Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche Salvaguardia dei sistemi naturalistici e paesaggistici	URR.4.1	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il riscaldamento
		URR.4.2	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il raffrescamento e la ventilazione igienico – sanitaria
		URR.4.3	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per l'illuminazione
URR.4.4		Isolamento termico	
URR.4.5		Inerzia termica per la climatizzazione	
URR.4.6	Riduzione del fabbisogno d'energia primaria e sostituzione di fonti energetiche da idrocarburi con fonti rinnovabili		

15.1

Caratteristiche delle componenti vetrate

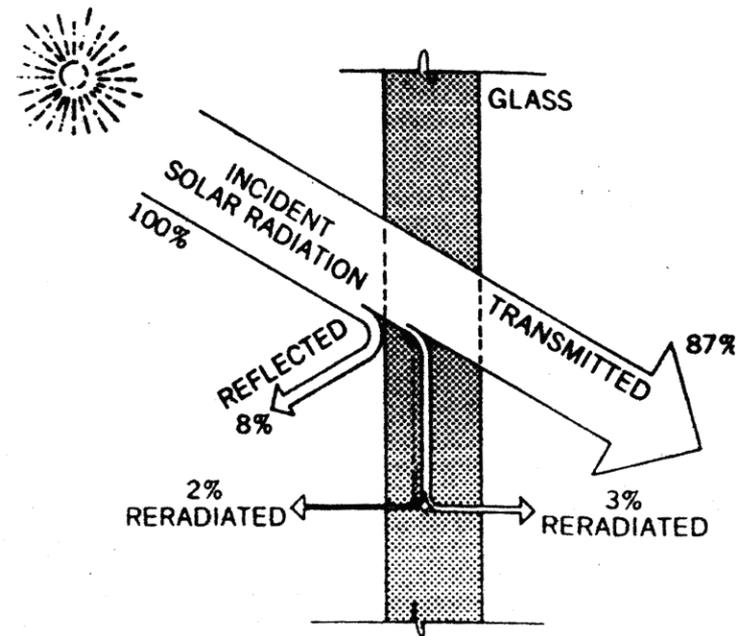
Vetro per serramenti

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:

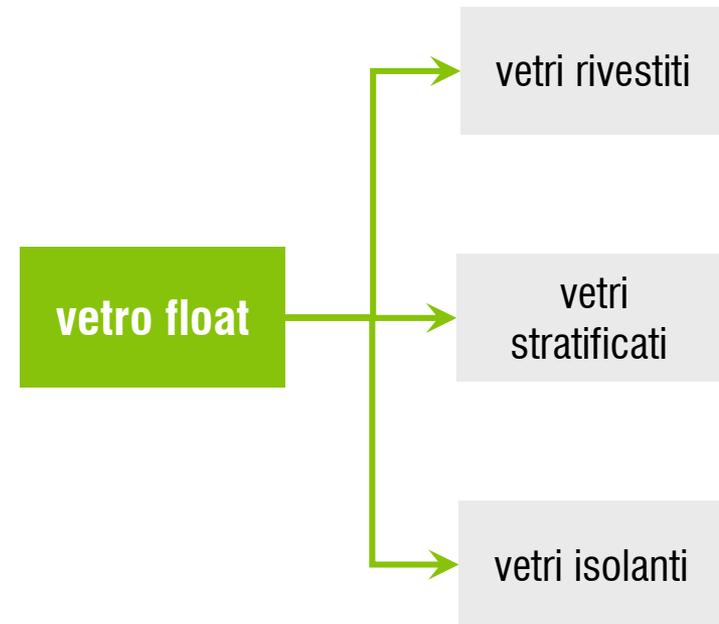
- dalla capacità dei serramenti di **ridurre** le **dispersioni termiche** invernali attraverso il vetro, il telaio e l'eventuale cassonetto;
- dalla **sensibilità** del **serramento** alle **infiltrazioni d'aria** alle superfici di contatto tra componenti.

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

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

DEPOSITI MAGNETRONICI

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

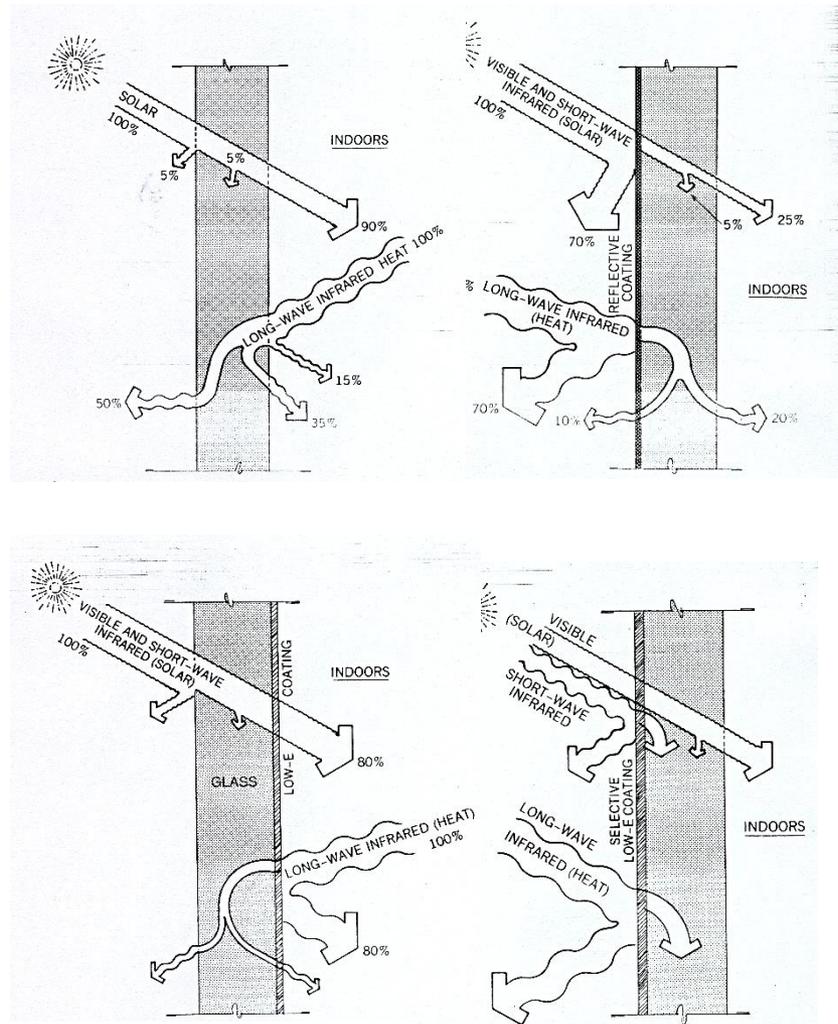
Riduzione scambi termici radiativi

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

Vetro per serramenti

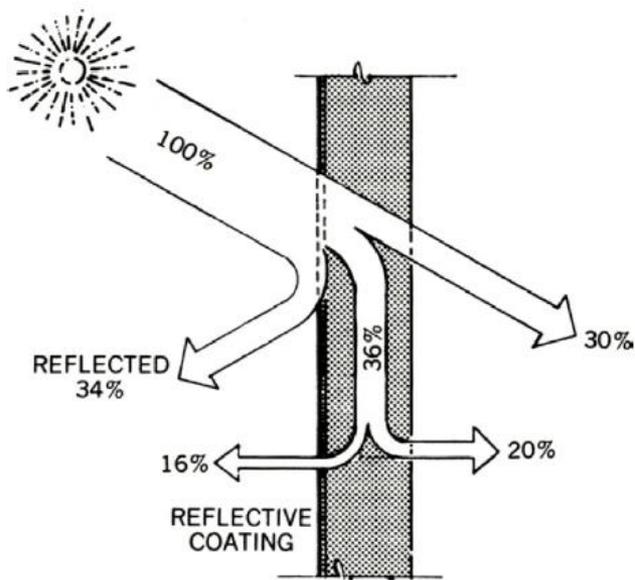
In base alle proprietà selettive del deposito, si distinguono:

- 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.

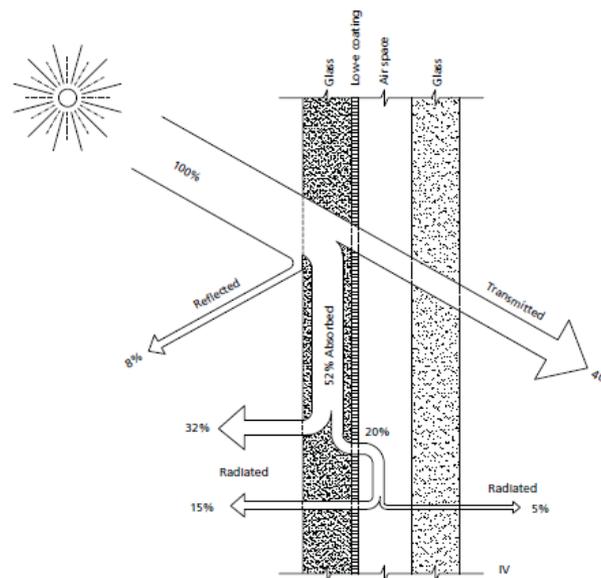


Vetro per serramenti

PROPRIETÀ SELETTIVE DEL VETRO



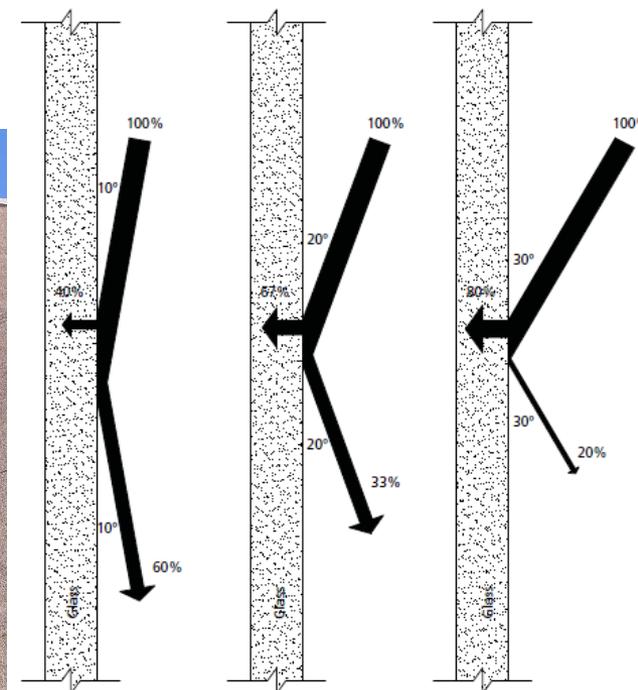
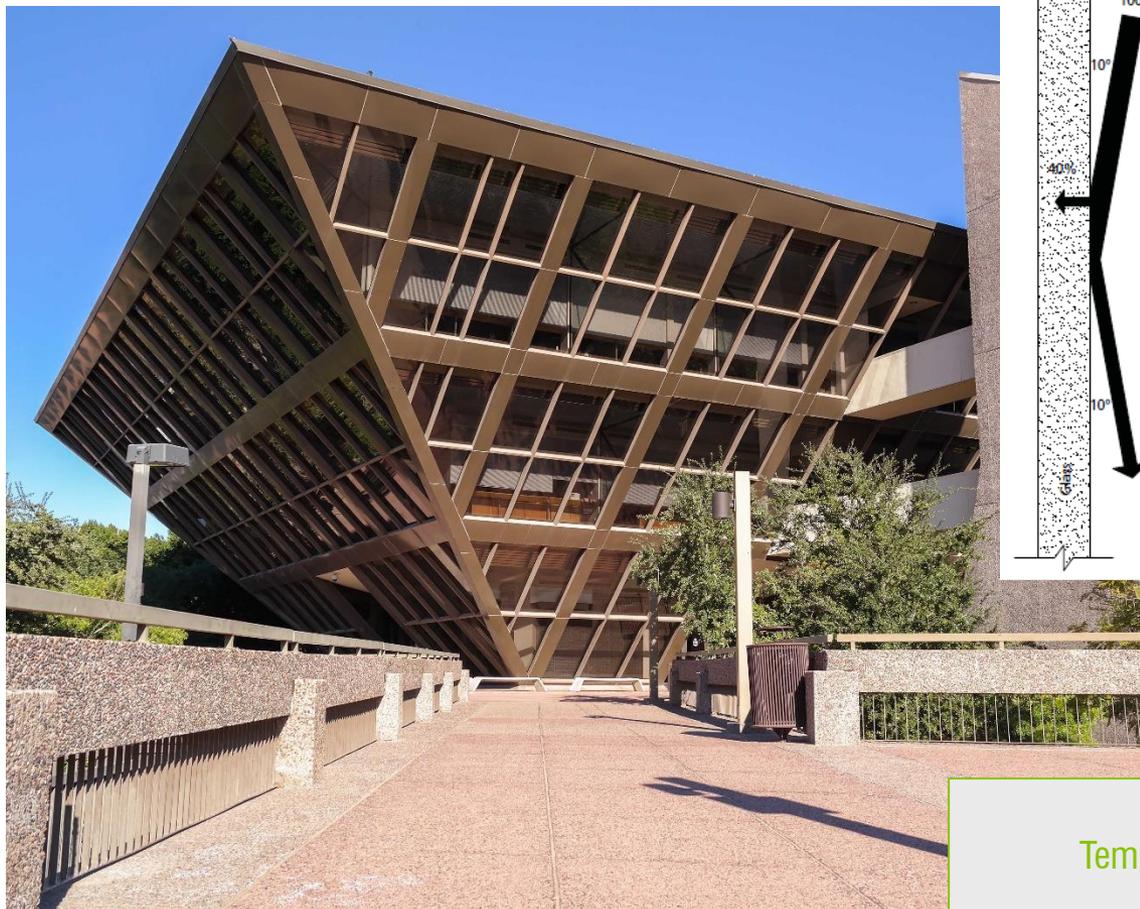
Vetro riflettente



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)

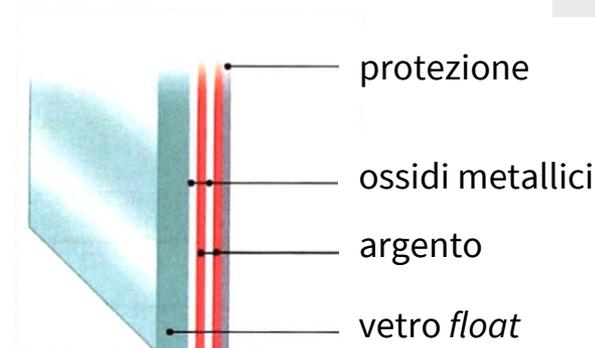
Vetro per serramenti

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



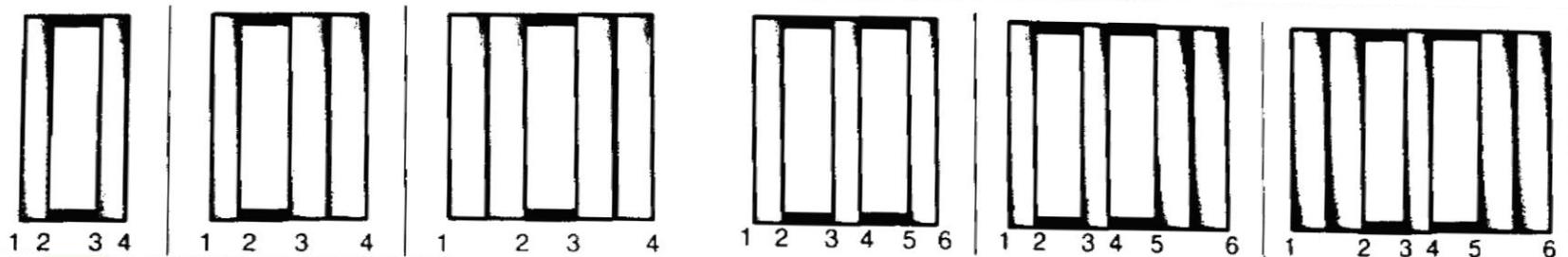
Concessionaria Mercedes, Roma

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 satura 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 ² K]	TRASMISSIONE LUMINOSA τ_L [-]
Vetrocamera mm (4+15+4) Intercedine: aria	0,77	2,80	0,81
Vetrocamera mm (4+15+4) Intercedine: argon 85%	0,77	2,60	0,81
Vetrocamera low-e (1) mm (4+15+4) Intercedine: aria	0,72	1,40	0,79
Vetrocamera low-e (1) mm (4+15+4) Intercedine: argon 85%	0,72	1,20	0,79
Vetrocamera low-e (2) mm (2,4+15+4) Intercedine: aria	0,41	1,40	0,71
Vetrocamera low-e (2) mm (2,4+15+4) Intercedine: argon 85%	0,41	1,10	0,71
Vetrocamera a basso fattore solare mm (1,6+15+4) Intercedine: aria	0,34	2,70	0,39
Vetrocamera selettivo mm (2,4+15+4) Intercedine: argon 85%	0,32	1,10	0,50

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

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

Distanziatore

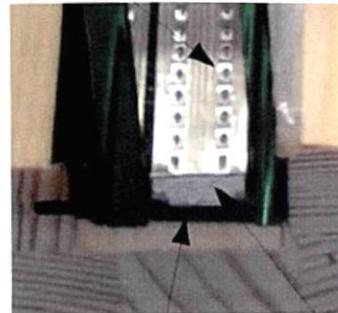
Il **distanziatore** è l'elemento volto a mantenere la **distanza** tra le **lastre di vetro**, realizzato usualmente in **alluminio**; attraverso l'applicazione di un **sigillante butilico** ne è garantita la tenuta all'aria.

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 ψ_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 singoli a forte dispersione termica, in cui si manifestano inoltre riduzioni delle prestazioni di isolamento acustico e tenuta all'aria dell'involucro edilizio.

distanziatore



sigillante

disidratante



15.2

Schermature solari

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, 7th 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.

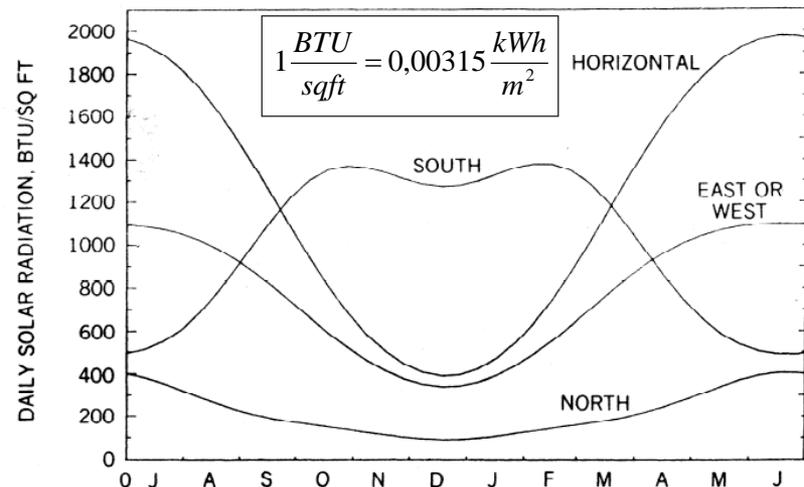
I sistemi di schermatura devono **consentire l'incidenza della radiazione** durante la **stagione fredda** per favorire il guadagno termico, ed **impedirla** o ridurla durante la **stagione calda** per evitare il surriscaldamento degli ambienti interni che va a gravare l'impianto di condizionamento.

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**.

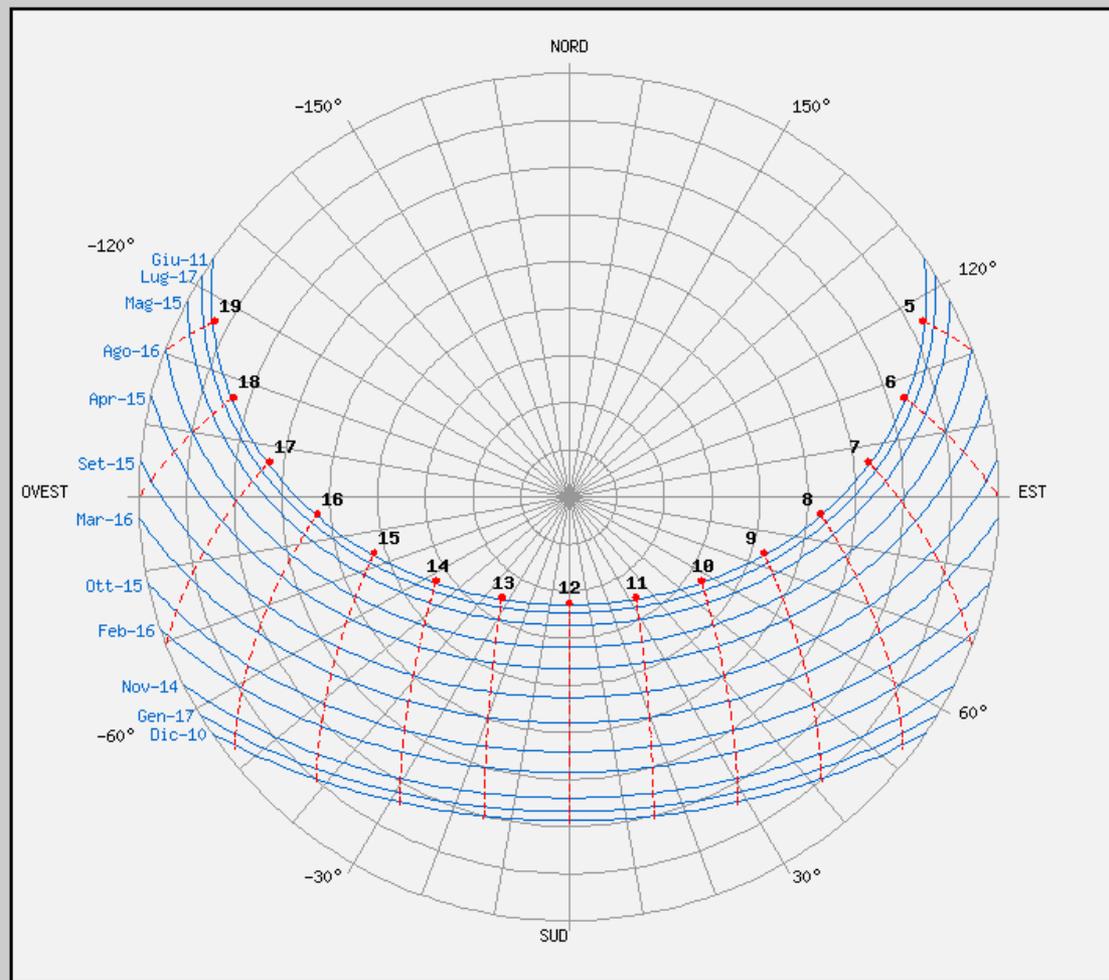
Si ricorda che l'esposizione **Sud** permette di ottenere minori quantità di radiazione solare estiva rispetto a qualsiasi altra esposizione.



Percorsi solari

Diagramma Solare

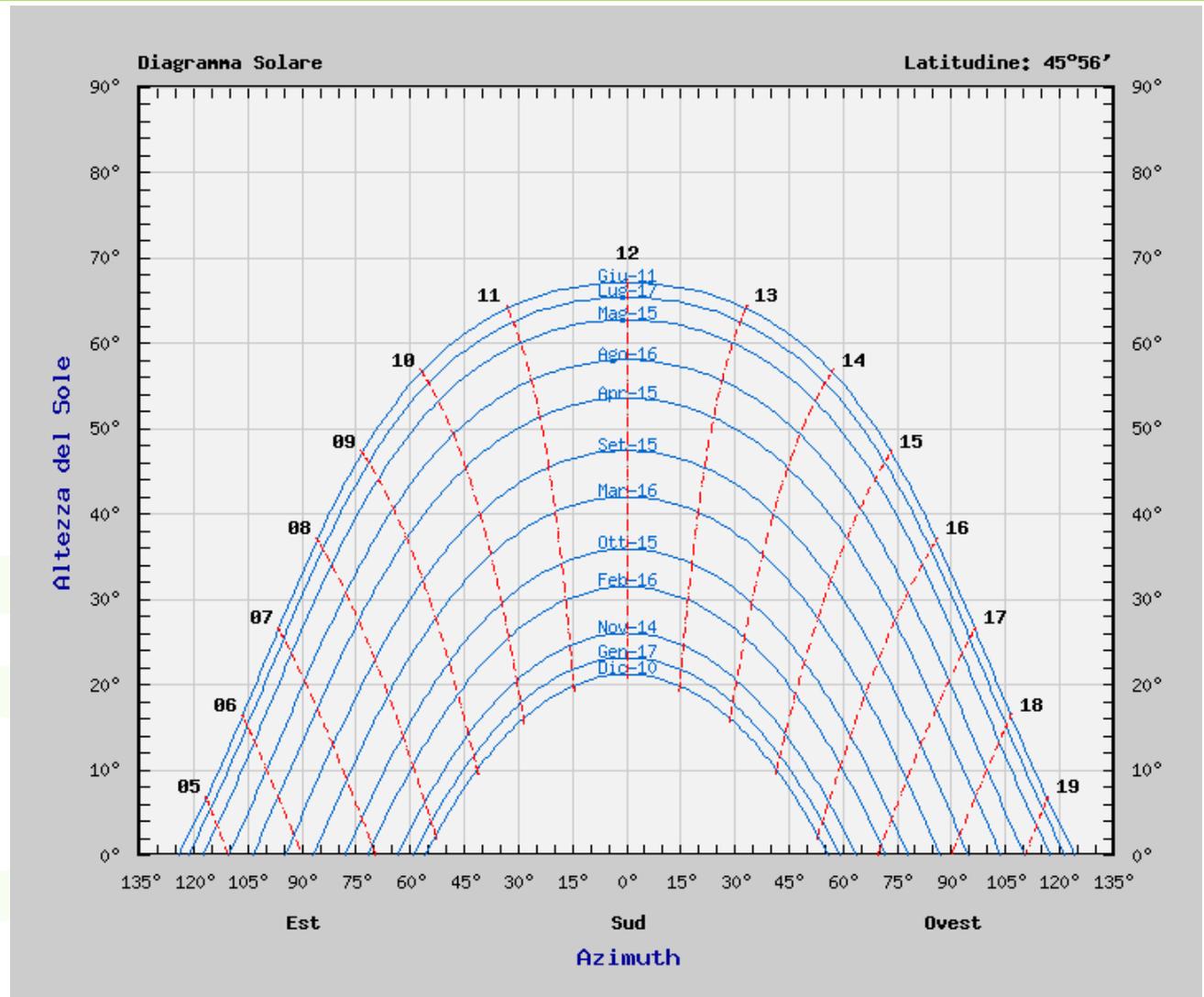
Latitudine: 45°56'



15



Percorsi solari

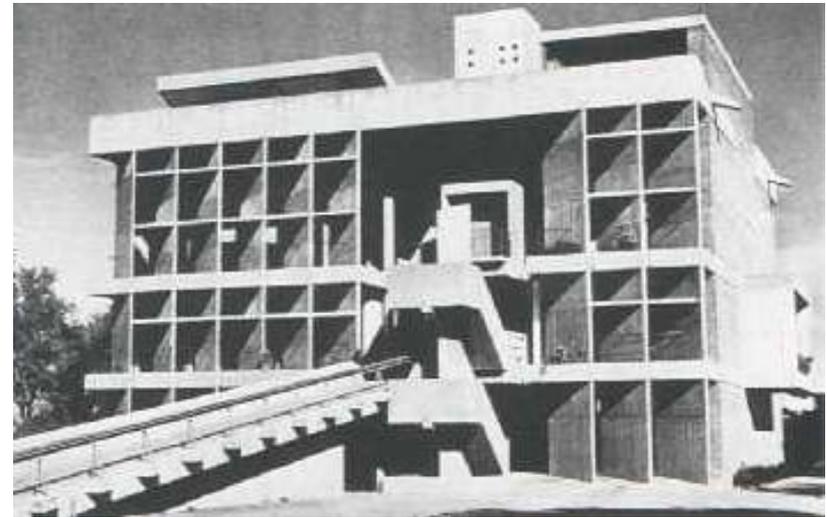


Principi

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

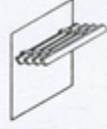
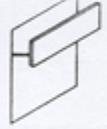
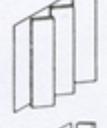
VALLETTA CITY GATE, LA VALLETTA (M)



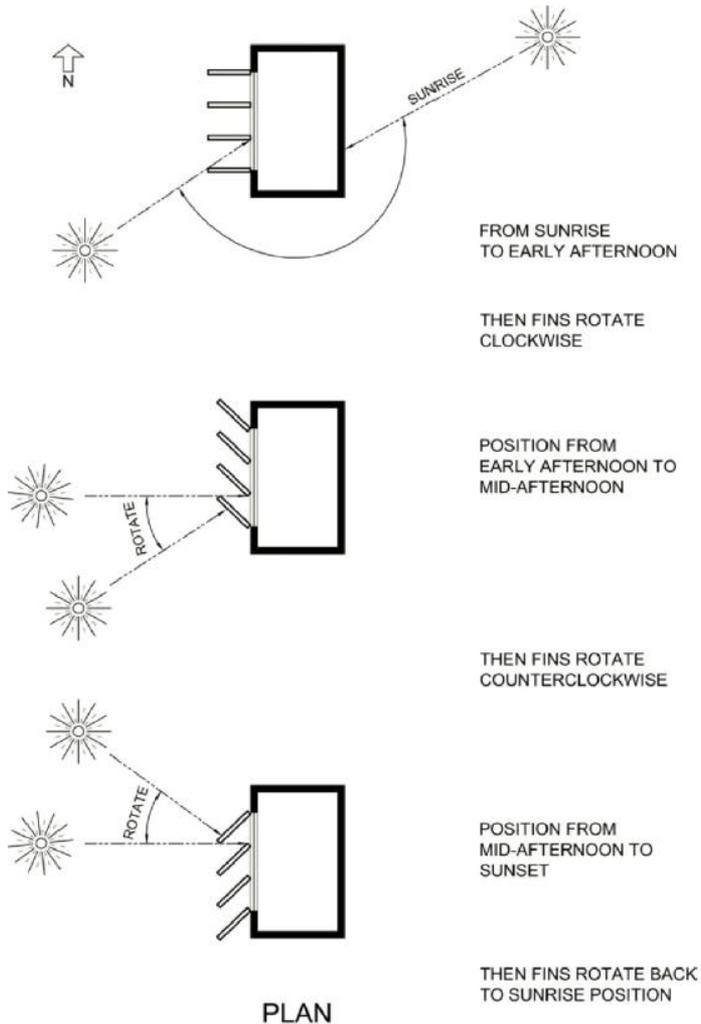
Soluzioni conformi

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.

15

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



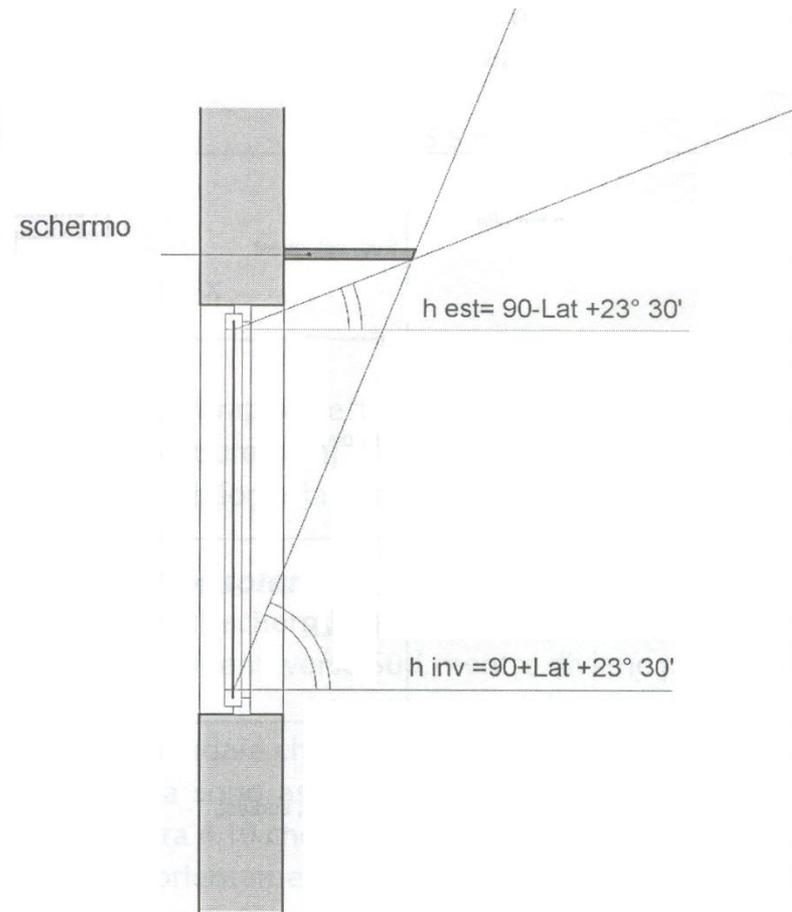
Impostare degli **schermi verticali continui** permette di risolvere il problema in modo più appropriato, ma va considerato che l'efficacia di tale sistema è reale solo per un **passo elevato tra gli schermi** stessi, fissi o mobili che siano, il che implica una severa **riduzione della vista verso l'esterno**.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

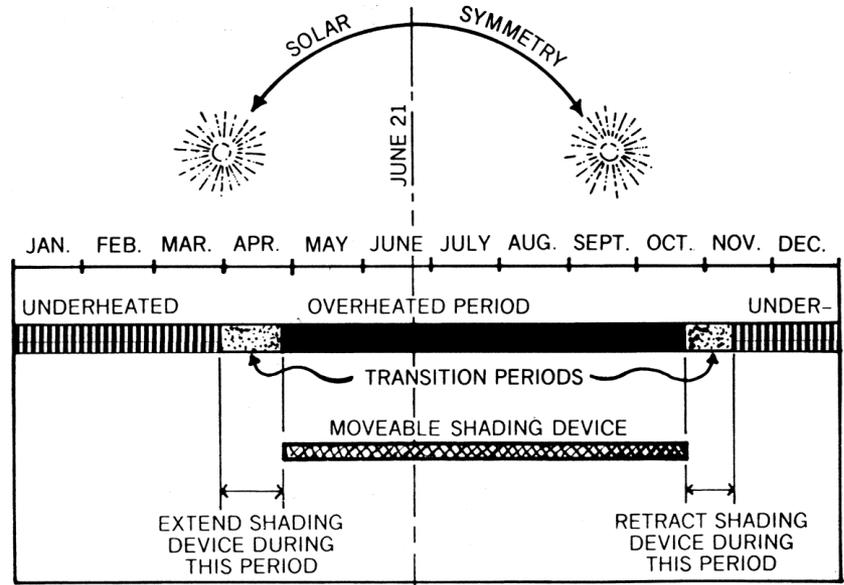
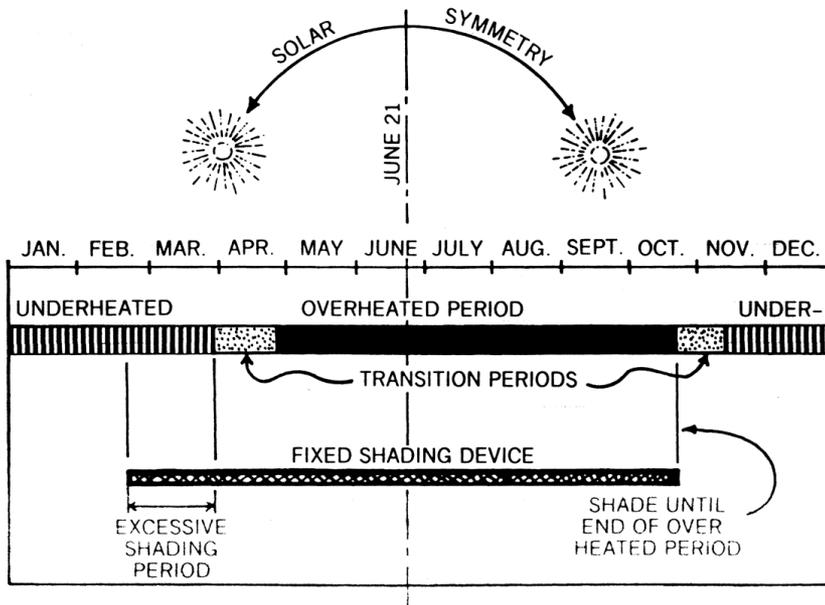
la variazione annuale della radiazione solare diretta, funzione dei percorsi solari, non coincide con quella delle temperature

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.

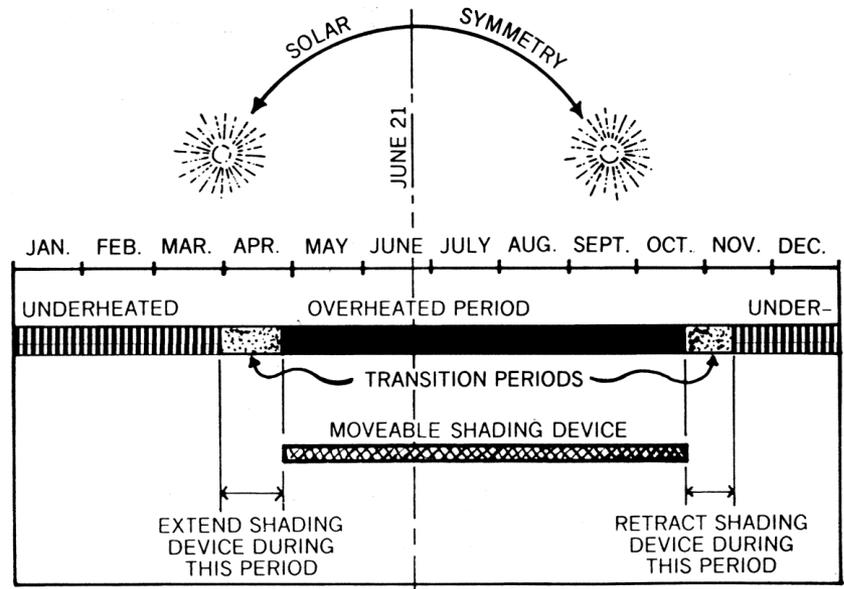
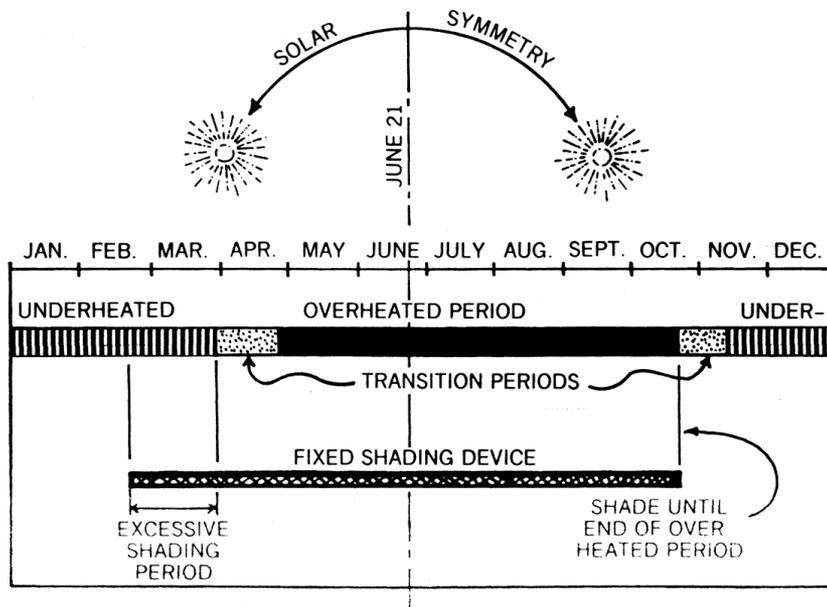
Seconda e più ampia considerazione, l'**anno solare** (la descrizione del percorso apparente che il Sole descrive sulla volta celeste) e l'**anno termico** (le oscillazioni annuali della temperatura esterna) sono **sfasati**.



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.



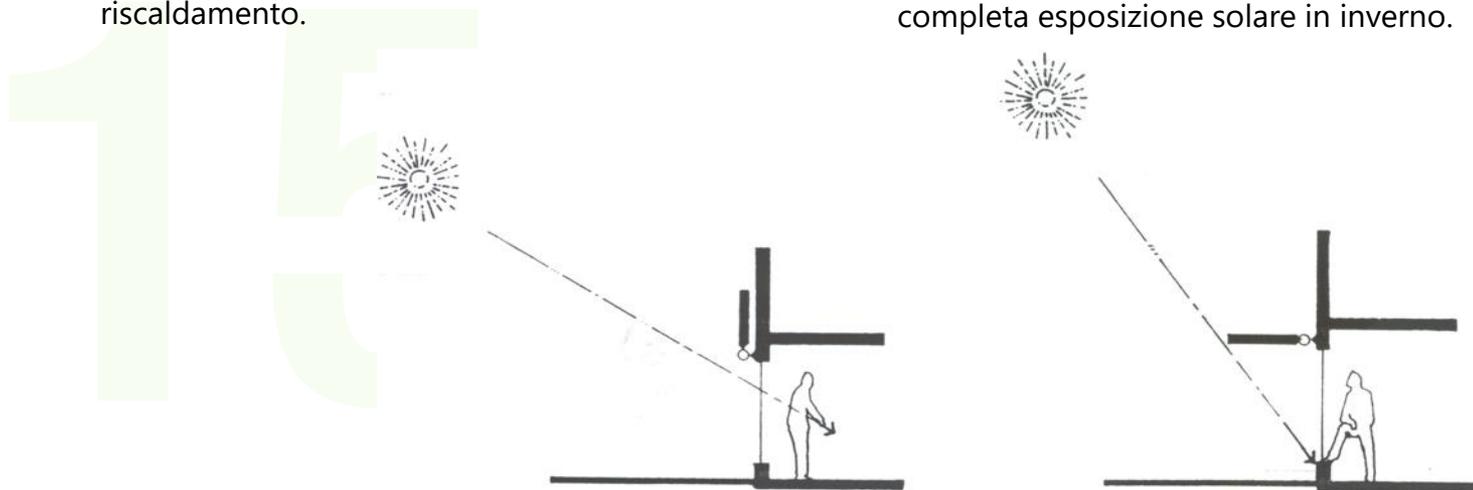
Schermi fissi e mobili

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.

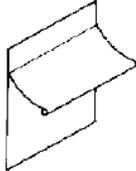
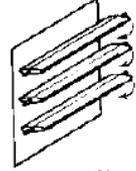
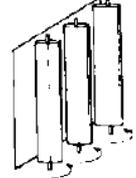
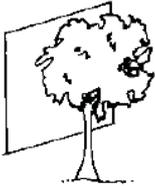
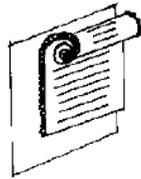
Si rende quindi necessario ottemperare a questa asimmetria introducendo **schermi mobili** che siano efficaci in estate pur salvaguardando i guadagni invernali.

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.



Schermi fissi e mobili

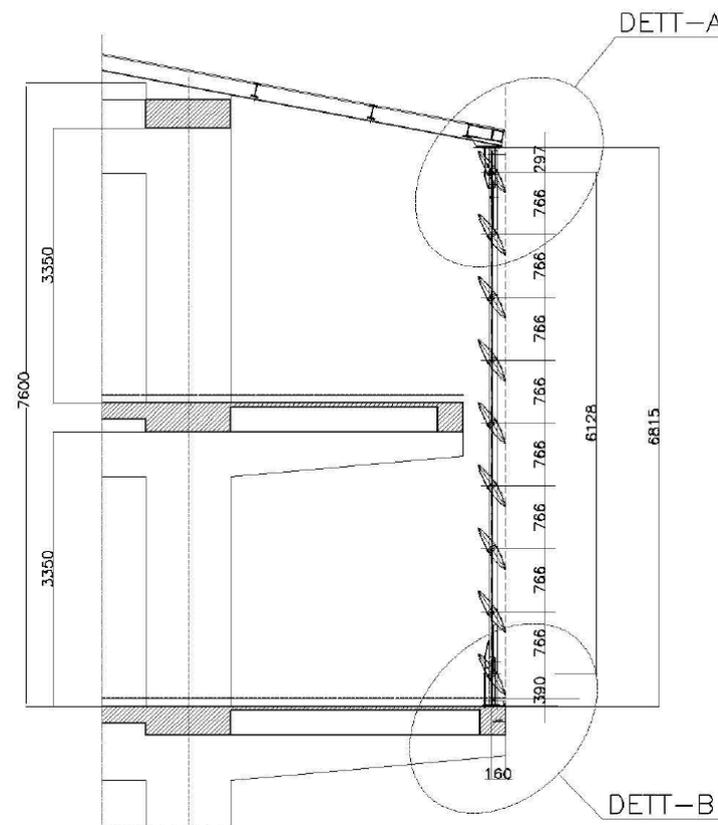
Uno schermo costituito di **lamelle** e posizionato ortogonalmente alla parete (**sistema continuo**), oppure un **pannello rotante** attorno al proprio asse (sistema **discreto**) non portano **carichi** ulteriori dovuti alla **neve**, ed oltretutto **impediscono all'aria calda di ristagnare** al di 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 Highly recommended
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 Provides security

Schermi fissi e mobili



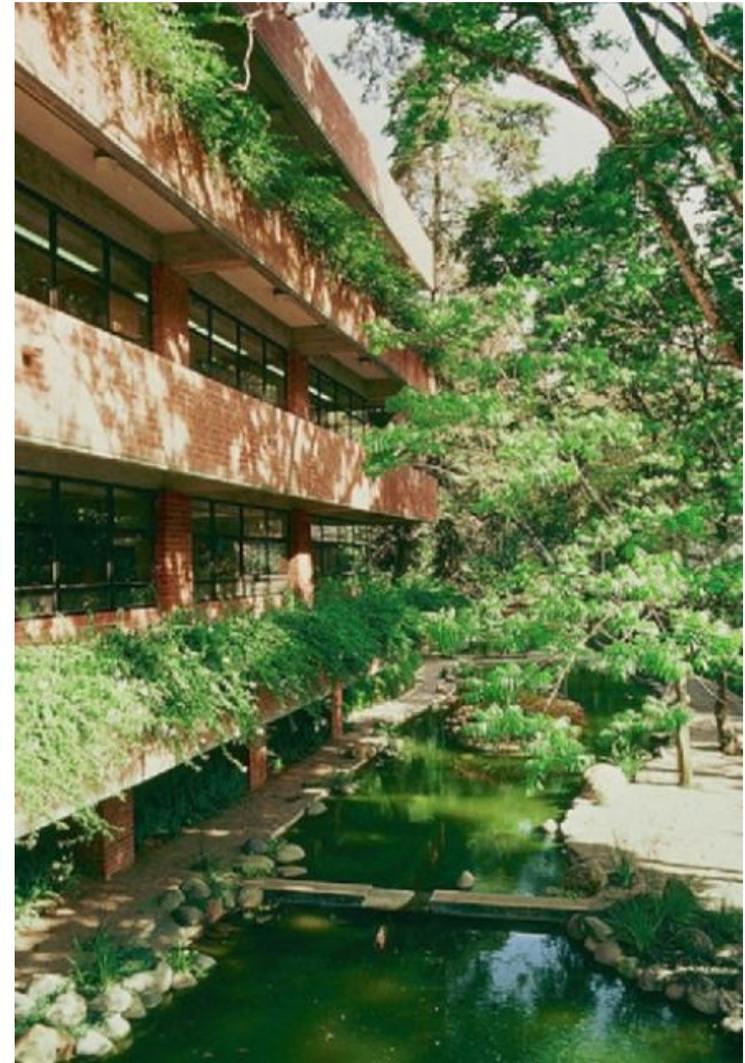
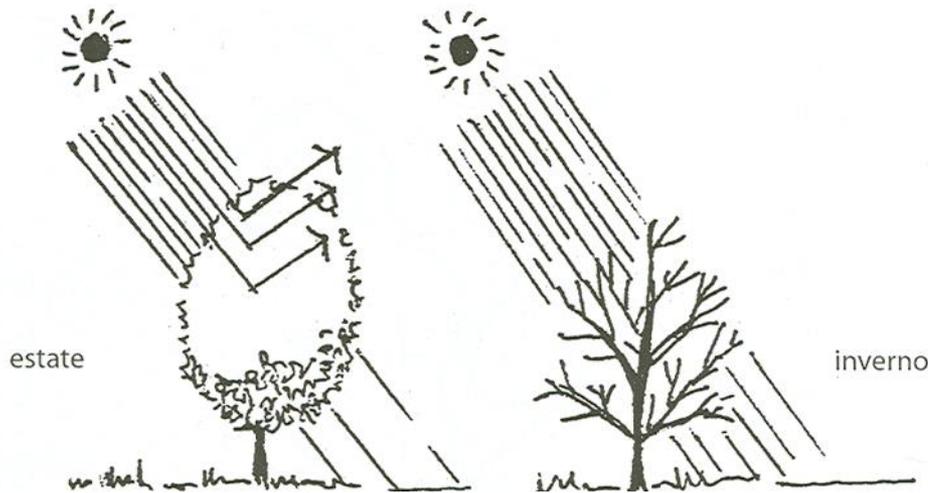
SEZIONE TIPO



Stadium Colombino, Huelva (E)

Schermi fissi e mobili

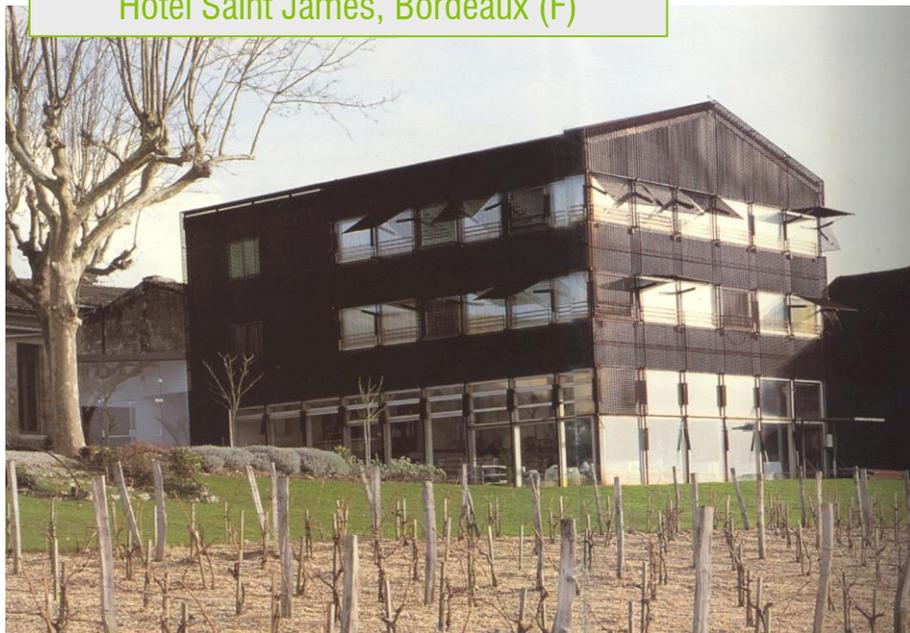
Anche la **vegetazione decidua** può essere considerata un sistema schermante: infatti la maggior parte delle piante segue l'andamento dell'**anno termico**, dato che le foglie cadono e si rigenerano in funzione della temperatura esterna. La vegetazione **modula** quindi la **trasmissione della radiazione**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



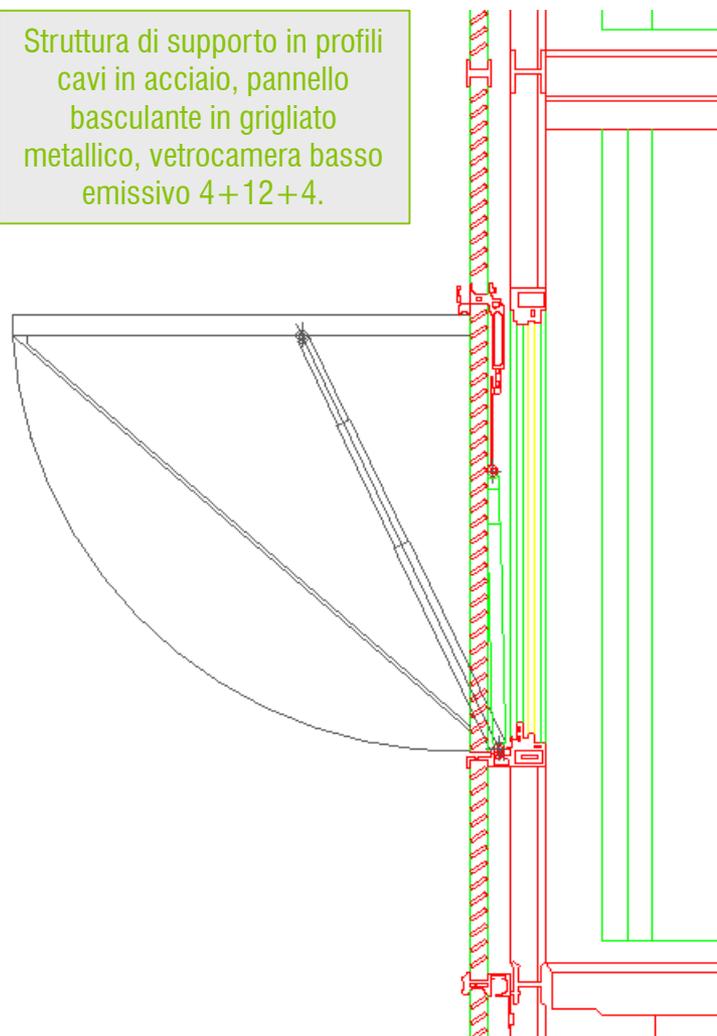
Soluzioni tecnologiche

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:

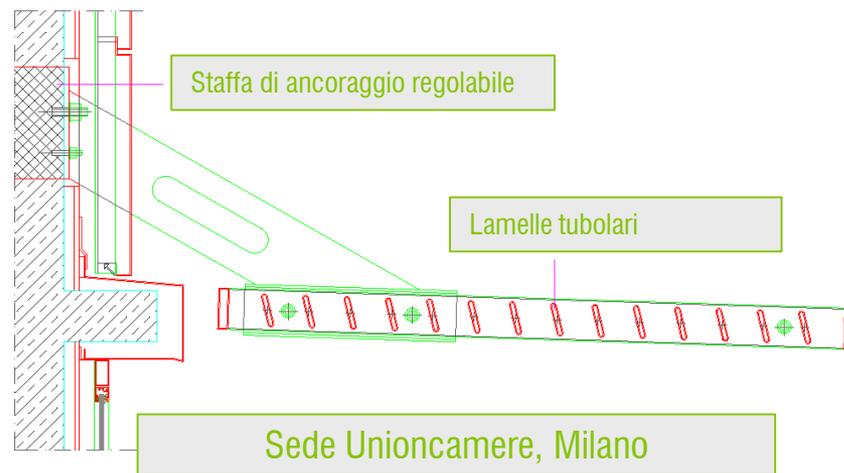
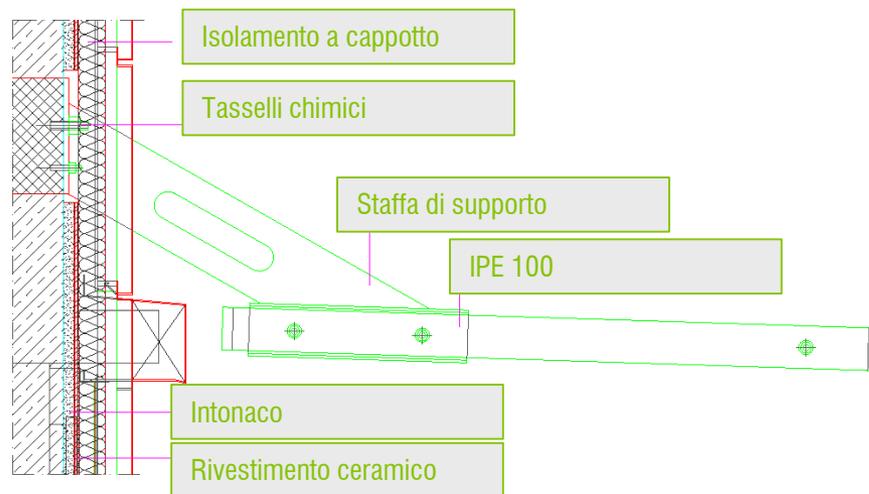
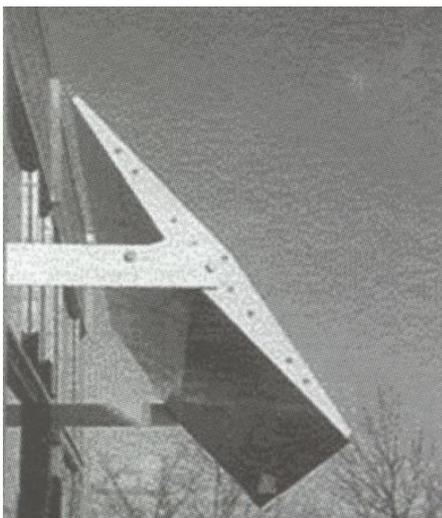
- l'**intercettazione dei raggi solari prima** che pervengano alla **superficie vetrata**. I raggi solari vengono principalmente riflessi verso l'esterno, in minor parte verso l'interno ed assorbiti dalla schermatura, che emette calore successivamente portato via tramite ventilazione naturale;
- la **riflessione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



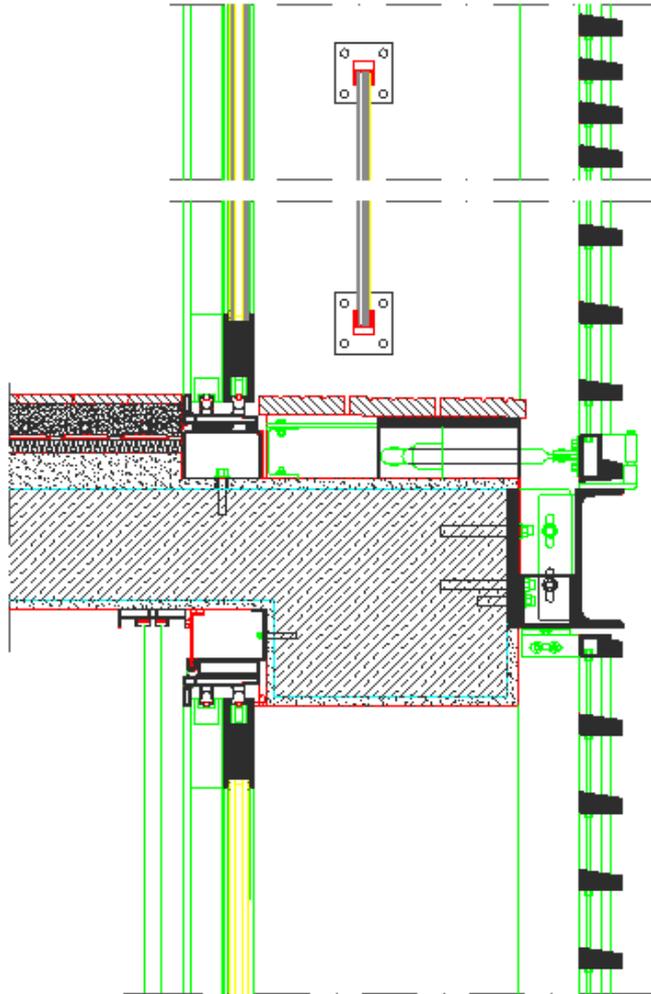
Sede Unioncamere, Milano

Soluzioni tecnologiche

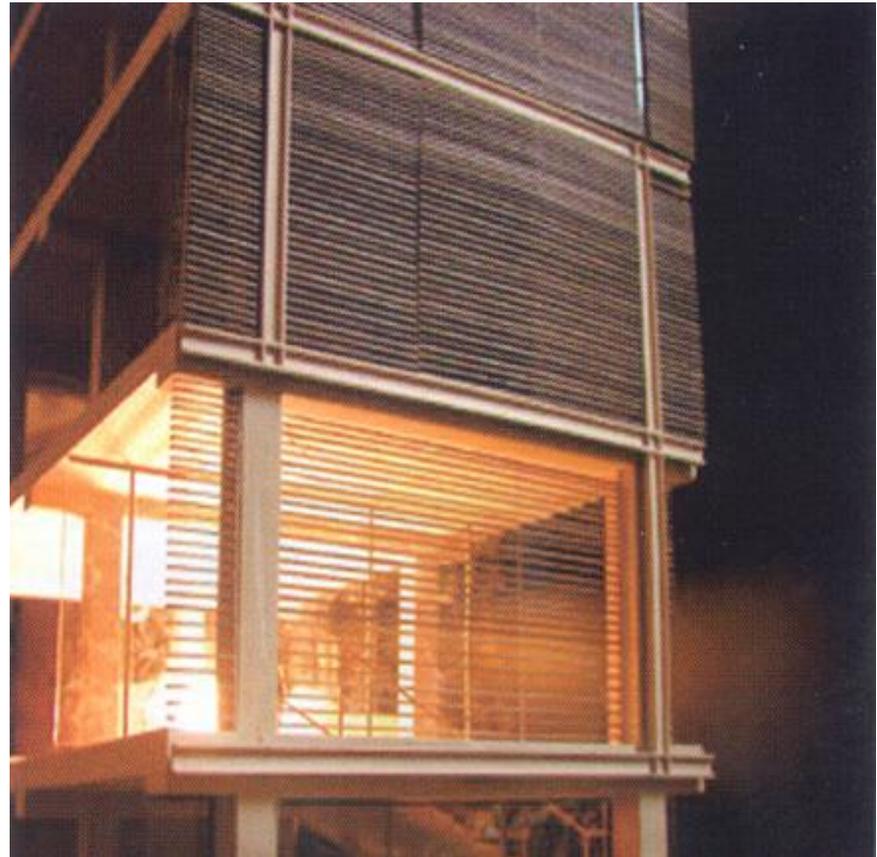
Gli aggetti sviluppati in senso **orizzontale** solitamente portano ad un **abbassamento della luminosità interna**, ma si possono anche impostare come dei **riflettori** che mandano la luce **verso il soffitto** (**lightshelf**), rendendo l'illuminazione più equilibrata. Un lightshelf è una schermatura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



Soluzioni tecnologiche

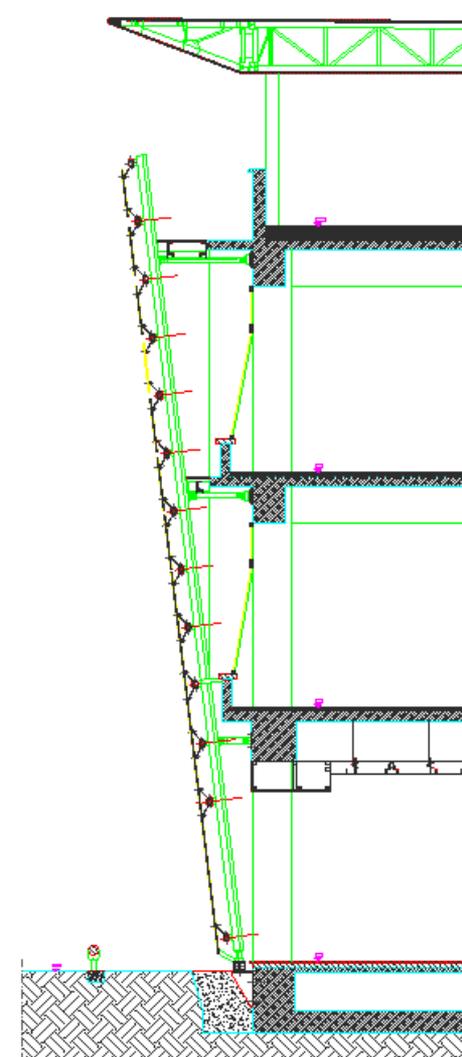
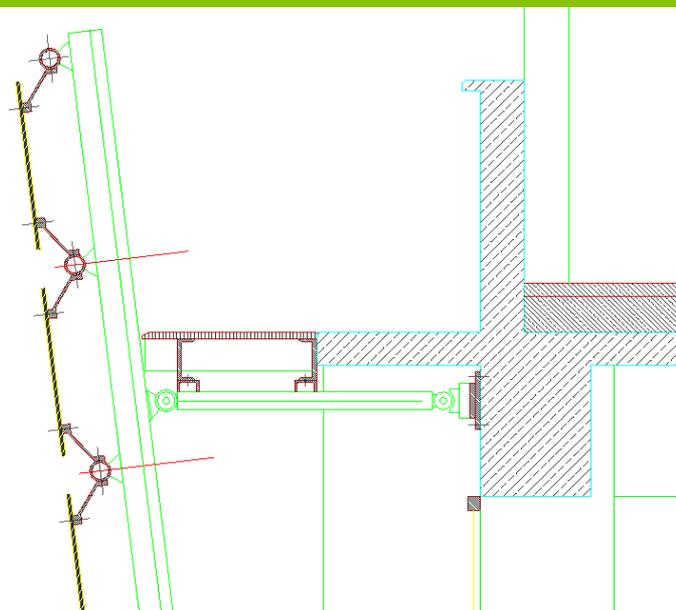
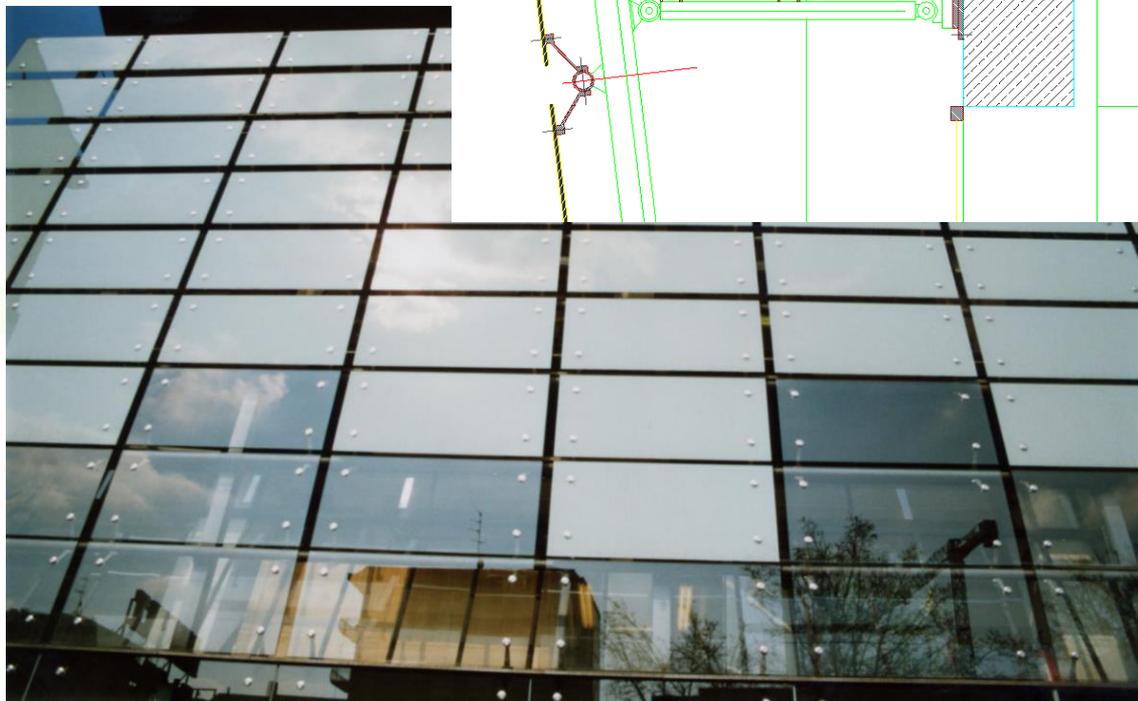


Ex «Casa Di Bianco», Cremona



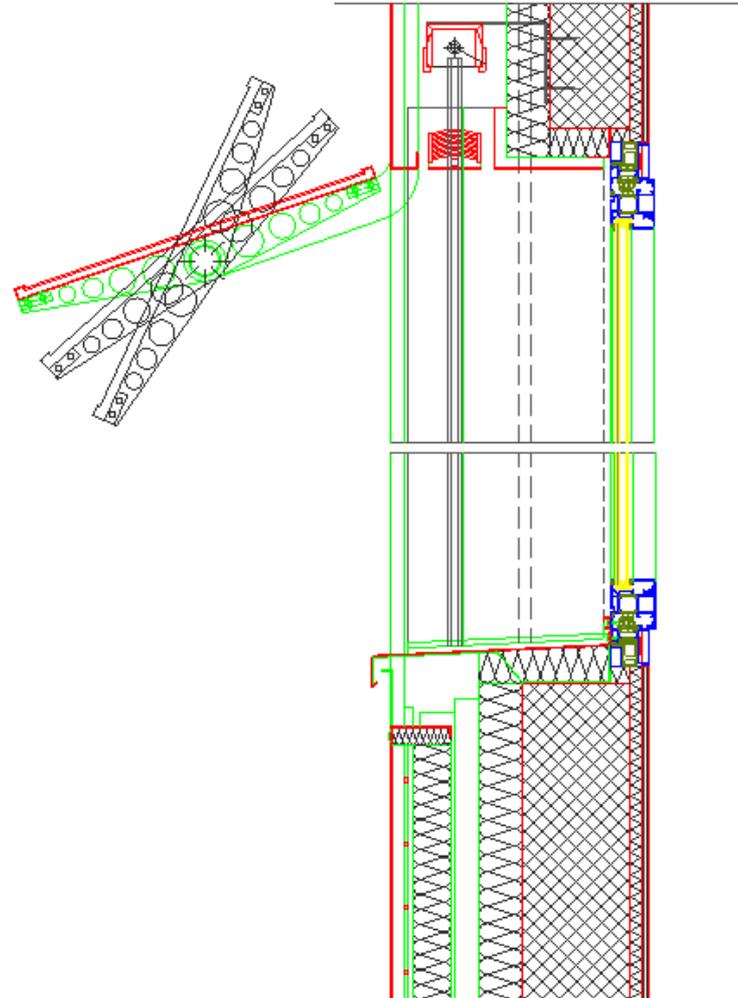
Soluzioni tecnologiche

Sede Renault, Milano



Soluzioni tecnologiche

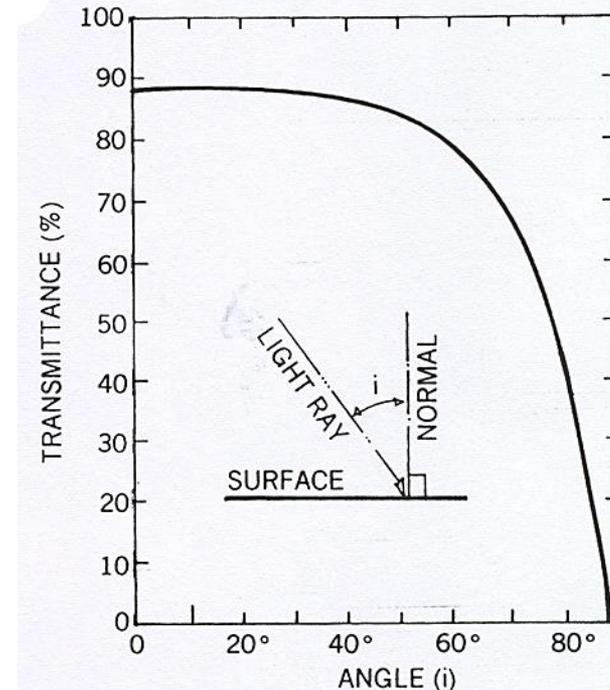
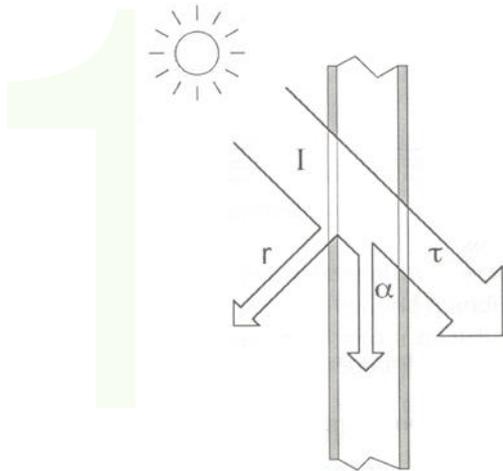
Edificio scolastico,
Lugano (CH)



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 α di energia assorbita **dipende** dall'eventuale **rivestimento** del **vetro** e dal **suo spessore**, mentre la frazione ρ 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.



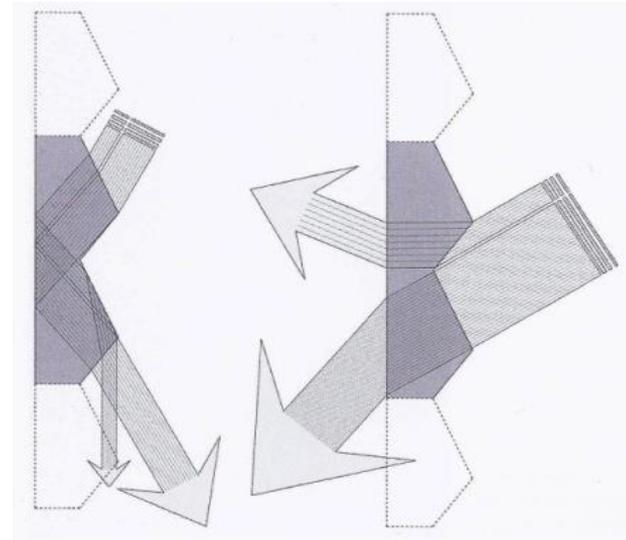
Vetri a selettività angolare

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**.

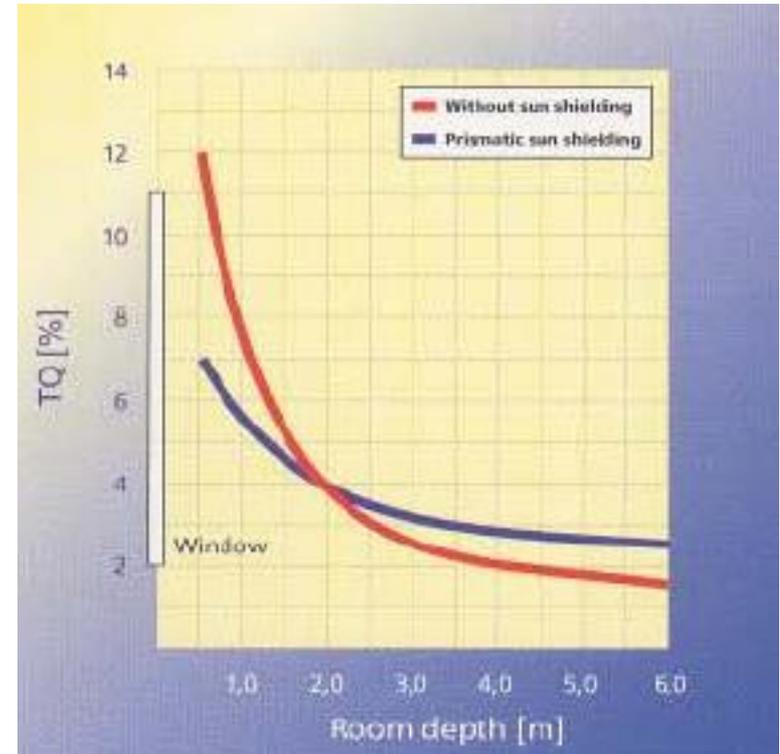
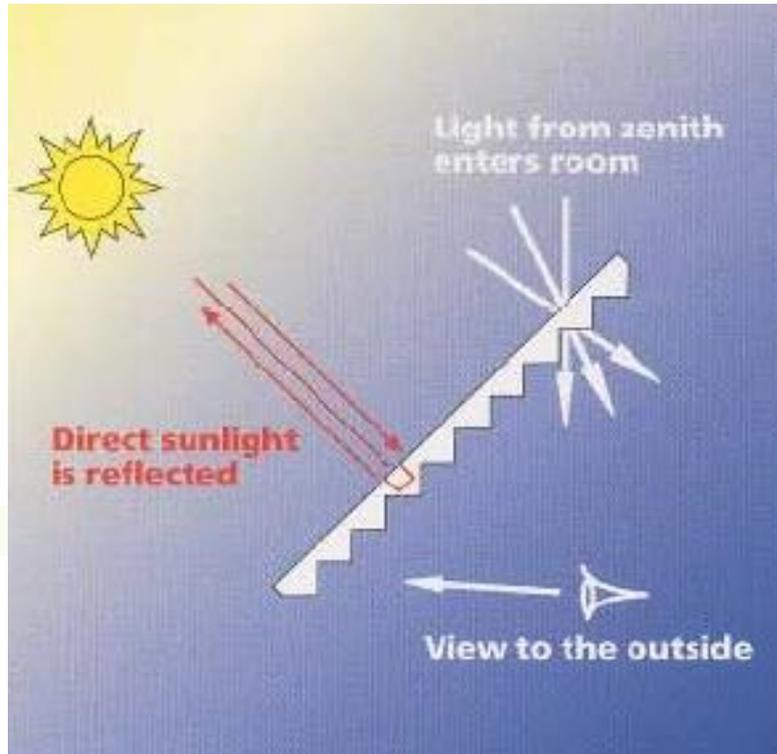
La prima categoria di **vetri selettivi** comprende i cosiddetti vetri a **selettività angolare**, che sfruttano principi geometrici per il direzionamento nella profondità degli ambienti della radiazione solare. È quindi possibile, in base all'angolo d'inclinazione della radiazione stessa, operare una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



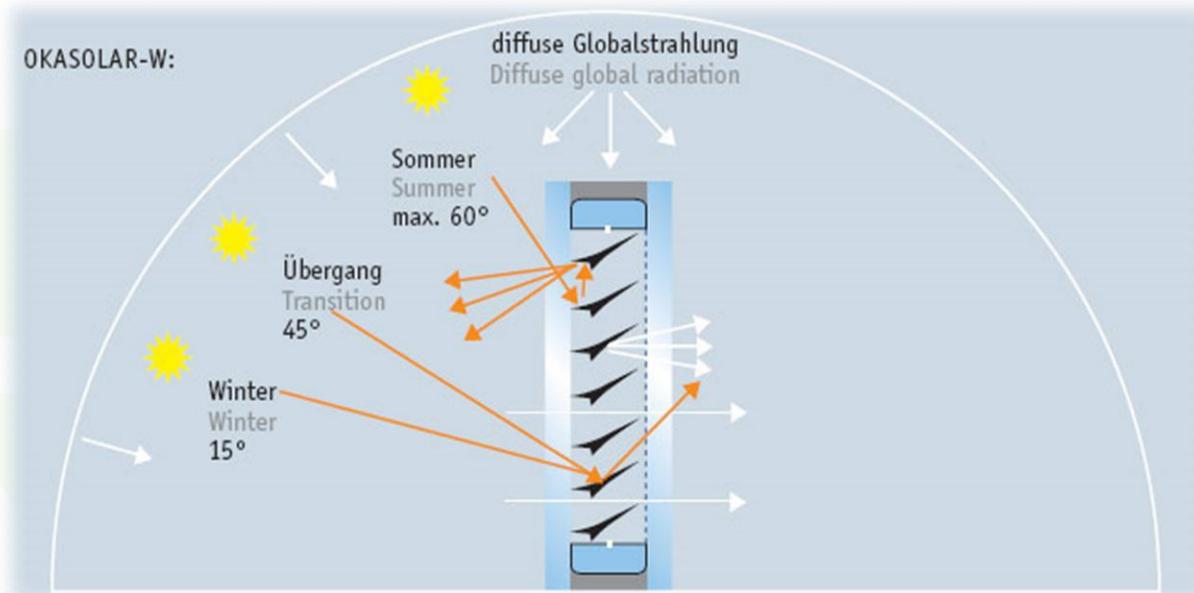
IN ASSENZA DI RADIAZIONE DIRETTA

Vetri a selettività angolare

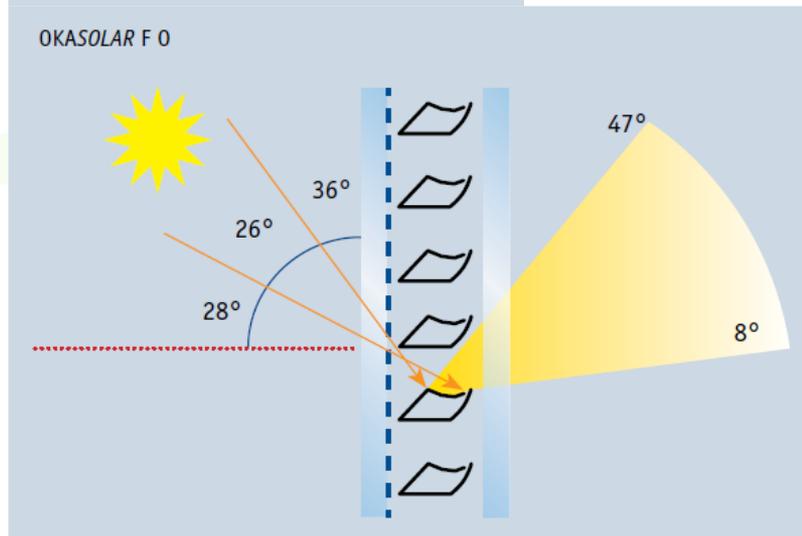
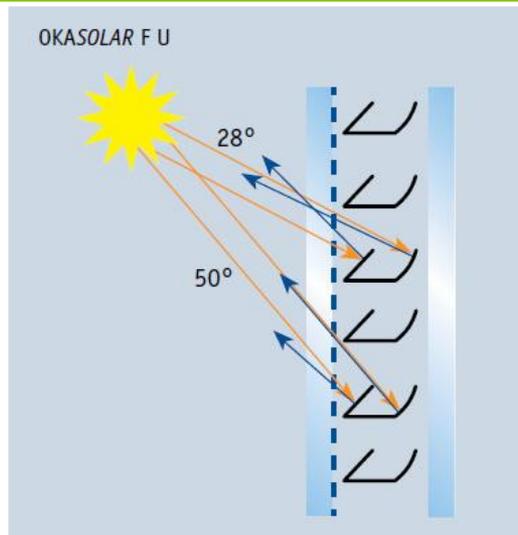
Un risultato simile è conseguibile inserendo dei **sistemi geometrici** per la deflessione dei raggi solari all'interno del serramento. La prima caratteristica distintiva di questi serramenti è lo **spessore**, ben superiore rispetto ad uno tradizionale; inoltre, la variabilità delle condizioni ottiche 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.



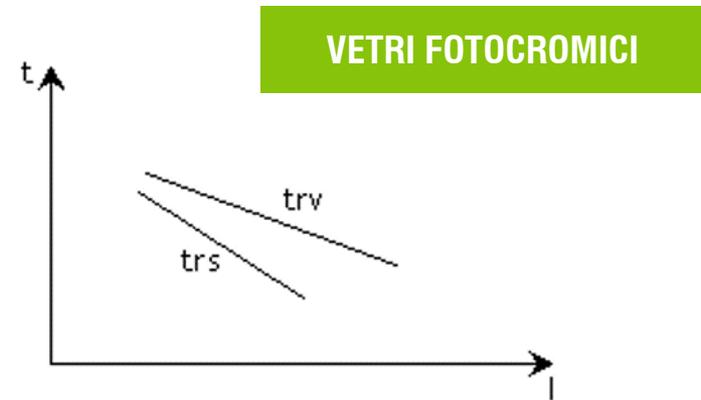
Vetri a selettività angolare



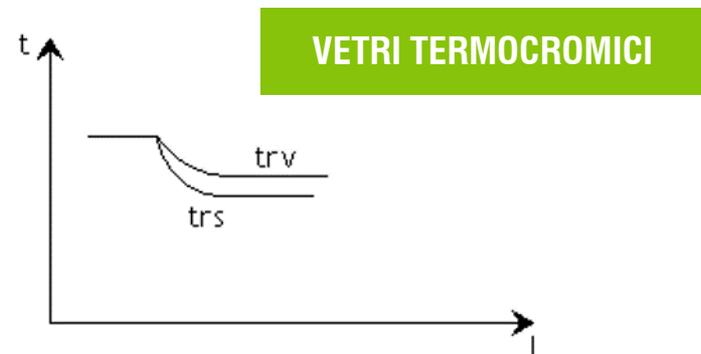
Vetri a trasmissione variabile

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.

