



Componenti e strategie di involucro trasparente





Nelle due scorse lezioni – con riferimento all’involucro opaco - sono stati illustrati:


Componenti e strategie di involucro opaco **tradizionale**

1. Prodotti e sistemi per l’isolamento termico
2. Intonaci termo-isolanti
3. Blocchi speciali
4. Vernici nanotecnologiche e finiture

Tecnologie **Bioclimatiche** di Involucro opaco

1. Pareti Ventilatae Opache
2. Tetti ventilati
3. Tetti Verdi
4. Muri di Trombe-Michelle con TIM

Analogamente, per le parti vetrate dell’involucro edilizio, avremo un ciclo di due lezioni



Componenti e strategie di involucro trasparente **tradizionale**

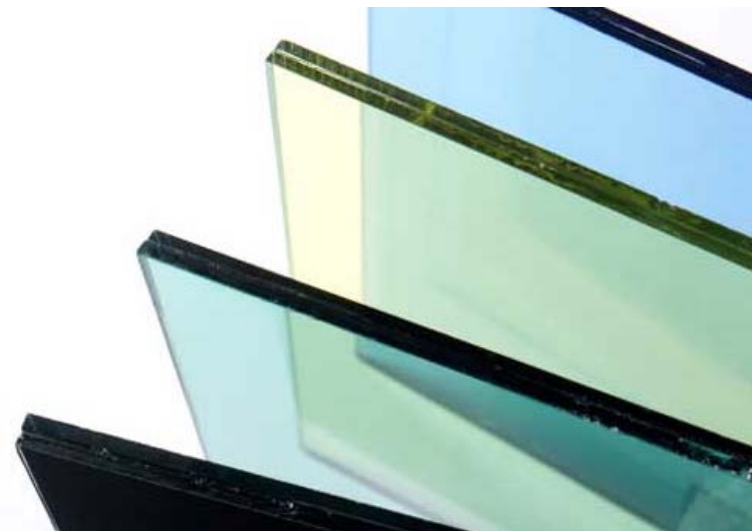
Tecnologie **Bioclimatiche** di Involucro trasparente

L'involucro edilizio vetrato: generalità

L'individuazione e la corretta progettazione dei **componenti trasparenti dell'involucro edilizio** riveste notevole importanza nell'ottica del rispetto delle condizioni di benessere.

Le chiusure trasparenti, infatti, influiscono sul controllo e sull'utilizzo della **radiazione solare**, sia per **illuminazione naturale** degli ambienti interni sia dal punto di vista del **carico termico complessivo dell'edificio**, poiché permettono l'ingresso della radiazione proveniente direttamente dal Sole, ovvero riflessa dal cielo, dal terreno e dagli edifici circostanti.

Dimensioni, forme e orientamento delle finestre possono influire sull'entità dei **guadagni solari** così come il vetro, a seconda delle sue caratteristiche (**vetro singolo / vetro doppio**), può contribuire a contenere le dispersioni.





L'involucro edilizio vetrato: generalità

L'obiettivo di garantire il benessere degli occupanti comporta l'esame di **aspetti diversi e talvolta tra loro contrastanti**. **Ampie finestre consentono, da un lato, il lavoro dell'individuo in ambienti adeguatamente e naturalmente illuminati**, dall'altro obbligano a **proteggere** coloro che si trovano negli ambienti dal notevole **carico termico** che l'irraggiamento solare produce e dai fenomeni di **abbagliamento** e di discomfort locale.

Si tratta di un problema di ottimizzazione. I componenti trasparenti, infatti, contribuiscono in modo significativo al **bilancio energetico dell'edificio**, sia con riferimento al periodo di **riscaldamento invernale**, sia nel **raffrescamento estivo**.



L'analisi prestazionale e la scelta **sono complesse** poiché il carico termico indotto dalla radiazione solare può essere **positivamente sfruttato in inverno** (con attenzione alle ingenti dispersioni) ma richiede poi **opportuni sistemi di controllo e schermatura nei mesi estivi** per non incrementare le esigenze di condizionamento.



L'involucro edilizio vetrato: generalità

In aggiunta, vanno considerati gli aspetti relativi al **rumore** e all'**effetto** delle radiazioni solari **sui materiali impiegati negli interni**.

CONTROLLO ACUSTICO. Il primo problema del rumore è associabile a quello dei carichi termici, volendosi con quest'affermazione intendere che molti degli accorgimenti adottabili per il controllo della trasmissione del calore (**aumento dello spessore e del numero dei vetri, nuovi materiali trasparenti, telai ben costruiti**) si muovono nello stesso senso della protezione da rumori esterni.

DEGRADO DEI MATERIALI. Il secondo, invece, deve essere tenuto nella dovuta considerazione allorché negli ambienti **siano conservati beni di particolare valore** molto sensibili all'esposizione prolungata alle radiazioni luminose.



La legge italiana (DM 26/06/2015). **Trasmittanza**

E' il provvedimento legislativo conosciuto come "Decreto Requisiti minimi degli edifici". In particolare, l'allegato 1 (Criteri generali e prestazioni energetiche degli edifici", richiamato dagli articoli 3 e 4 del Decreto, al punto 5.2, stabilisce che "il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure tecniche trasparenti e opache, apribili e assimilabili, delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di condizionamento, comprensive degli infissi e non tenendo conto della componente oscurante, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella Tabella 4"

Tabella 4 - Trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,00
D	2,10	1,80
E	1,90	1,40
F	1,70	1,00



La legge italiana (DM 26/06/2015). **Fattore solare**

Al punto D del medesimo paragrafo 5.2, l'Allegato 1 stabilisce che per le chiusure **tecniche trasparenti delimitanti il volume climatizzato** verso l'esterno con orientamento da Est a Ovest, passando per Sud, il valore del **fattore di trasmissione solare totale** (g_{gl+sh}) della componente finestrata, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella Tabella 5 (**di seguito mostrata**):

Tabella 5- Valore del fattore di trasmissione solare totale g_{gl+sh} per componenti finestrati con orientamento da Est a Ovest passando per Sud, in presenza di una schermatura mobile.

Zona climatica	g_{gl+sh}	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
Tutte le zone	0,35	0,35

⁽¹⁾ dal 1 luglio 2015 per tutti gli edifici

⁽²⁾ dal 1 gennaio 2021 per tutti gli edifici



La legge italiana (DM 26/06/2015). Area solare

Il medesimo decreto, e questa è una novità assoluta, stabilisce anche un massimo alla superficie trasparente degli edifici, prevedendo che il rapporto tra **AREA SOLARE** e **SUPERFICIE UTILE** ($A_{sol,est} / A_{sup\ utile}$) non sia superiore ai valori riportati nella seguente tabella.

Tabella 11 - Valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ (-)

#	Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
1	Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)	$\leq 0,030$
2	Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

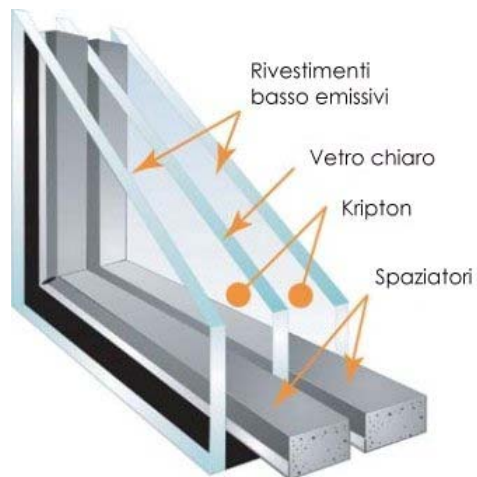
A tale proposito, va specificato che l'area solare non è semplicemente l'area delle finestre, ma vi sono fattori riduttivi che tengono conto dei sistemi schermanti, l'incidenza del telaio, il fattore solare del vetro.

La prescrizione è riferita agli edifici di nuova costruzione e agli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti.

La legge italiana (DM 26/06/2015). Schermi e filtri

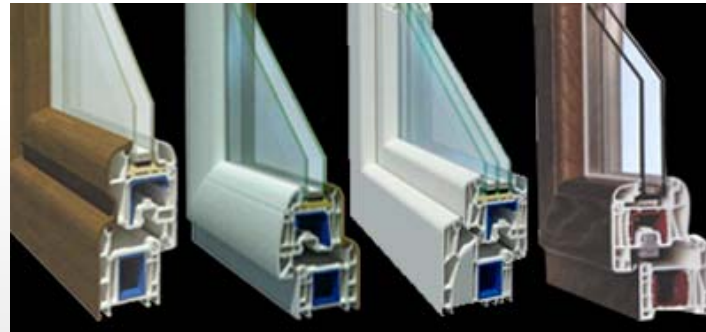
Oltre alle sopracitate prescrizioni, altre riguardano la presenza dei sistemi schermanti. In particolare:

"il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare"



Dove e come intervenire?

I. Vetrate



II. Telai



III. Cassonetti

IV. Schermature





Dove e come intervenire: Vetrate

Le superfici trasparenti rappresentano un componente critico in termini di **trasmissione** in quanto, se non correttamente progettate e posate in opera, possono diventare l'elemento maggiormente disperdente dal punto di vista termico.

Per il calcolo della trasmissione si fa riferimento alla UNI EN ISO 10077-1.

Essa si applica a:

1. diversi tipi di **vetrate** (vetri o plastiche; vetrate singole o multiple; con o senza rivestimenti a bassa emissività, con intercapedini riempite di aria o altri gas);
2. diversi tipi di telai (di legno; di plastica; di metallo con o senza taglio termico; di metallo con connessioni puntiformi o qualsiasi altra combinazione di materiale);
3. al calcolo della resistenza termica aggiuntiva dovuta a chiusure di diverso tipo, in funzione della loro permeabilità all'aria.

*Le metodologie di calcolo della UNI EN ISO 10077-1 **non si applicano alle facciate continue** e alle altre strutture di vetro che non siano inserite in un telaio. Sono esclusi i lucernari.*



Dove e come intervenire: Vetrate

La **trasmittanza della vetrata singola** e stratificata, U_g , deve essere calcolata con la seguente equazione:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si}}$$

dove:

- ✓ R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna;
- ✓ λ_j è la conducibilità termica del vetro o del materiale dello strato j ;
- ✓ d_j è lo spessore della lastra di vetro o del materiale dello strato j ;
- ✓ R_{si} è la resistenza termica superficiale interna.



Dove e come intervenire: Vetrate

La trasmittanza di vetrate multiple, U_g , può essere calcolata in conformità alla EN 673 (*Glass in building - Determination of thermal transmittance - Calculation method*) oppure con la seguente equazione:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{sj} + R_{si}}$$

dove:

- ✓ R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna;
- ✓ λ_j è la conducibilità termica del vetro o del materiale dello strato j ;
- ✓ d_j è lo spessore della lastra di vetro o del materiale dello strato j ;
- ✓ R_{si} è la resistenza termica superficiale interna;
- ✓ R_{sj} è la resistenza termica dell'intercapedine j .

Dove e come intervenire: Vetrate

Il vetro, rispetto alla radiazione termica proveniente dal sole, determina, in quota parte diversa: riflessione, trasmissione ed assorbimento.

Lastra interna e/o esterna	Parametri luminosi (%)		Parametri energetici (%)				Coefficiente di Shading			Valore U_g (W/m ² K)
	Trasmissione	Riflessione	Trasmissione diretta	Riflessione	Assorbimento	Fattore Solare	Lunghezza d'onda corta	Lunghezza d'onda lunga	Totale	
Composizione vetrocamera (4 mm Pilkington Optifloat TM Clear – 16 mm Argon – 4 mm lastra interna)										
Pilkington K Glass TM	75	18	60	16	24	72	0,69	0,14	0,83	1,5
Pilkington Optitherm TM S3	80	13	54	26	20	61	0,62	0,08	0,70	1,1
Pilkington Optitherm TM S1	70	21	42	38	20	48	0,48	0,07	0,55	1,0
Composizione vetrocamera triplo (4 mm lastra esterna – 12 mm Argon – 4 mm Pilkington Optifloat TM Clear – 12 mm Argon – 4 mm lastra interna)										
Pilkington Optitherm TM S3	71	18	42	33	25	50	0,48	0,09	0,57	0,7
Composizione vetrocamera (6 mm lastra esterna – 16 mm Argon – 4 mm Pilkington Optifloat TM Clear)										
Pilkington Solar-E TM	54	11	39	10	51	45	0,45	0,07	0,52	1,5
Pilkington Suncool TM Clear	65	22	40	32	28	43	0,46	0,03	0,49	1,1
Pilkington Suncool TM 70/40	71	10	39	28	33	43	0,45	0,04	0,49	1,1
Pilkington Suncool TM 70/35	70	16	35	35	30	37	0,40	0,03	0,43	1,0

Fonte: esempio vetro da catalogo Pilkington

➤ Grandezze fisiche/ottiche:

❑ **Trasmissione luminosa:** è la permeabilità del vetro alla luce ed esprime la percentuale della radiazione visibile lasciata passare direttamente nel campo compreso da 380 e 780 nm;

❑ **Fattore di Riflessione Luminosa:** esprime la percentuale di radiazione, appartenente allo spettro del visibile, riflessa dalla lastra vetrata.



Dove e come intervenire: Vetrate

➤ Grandezze da Bilancio energetico:

❑ **Fattore di Riflessione:** rapporto tra il flusso energetico **riflesso** e quello incidente;

❑ **Fattore di Assorbimento:** percentuale di flusso energetico **assorbita** dal vetro;

❑ **Fattore di Trasmissione:** percentuale di flusso energetico **trasmessa** dal vetro;

❑ **Fattore solare:** rapporto tra l'energia termica proveniente dal sole ed entrante nell'ambiente, e l'energia che arriva sulla superficie esterna della lastra. Per il calcolo si considerano le lunghezze d'onda comprese tra i 0.3 ed i 2.5 μm , quindi, oltre alle radiazioni visibili, una parte dell'ultravioletto ($< 380 \text{ nm}$) ed una parte di infrarosso ($> 780 \text{ nm}$).

E' comunemente chiamato "g" (trasmittanza solare) ed è somma del **fattore di trasmissione solare** e del **fattore di scambio termico secondario** (quota della radiazione solare incidente assorbita dalla vetrata e trasferita all'interno per convezione ed irraggiamento).



Dove e come intervenire: Vetrate

Principali tipologie di vetri per l'edilizia (1/3)

- **VETRO COMUNE (FLOAT)**: il vetro comune bianco trasparente, anche alla base di molti altri vetri speciali.
- **VETRI A CONTROLLO SOLARE (anche riflettenti)**: intercettano gran parte delle radiazioni infrarosse senza ostacolare le radiazioni visibili grazie a coatings che provocano un assorbimento selettivo sulla superficie del vetro.
- **VETRI LOW-E (Basso-Emissivi)**: ottimizzano l'isolamento termico e riducono le dispersioni dall'interno dell'edificio.
- **VETRI SELETTIVI**: uniscono le proprietà dei precedenti, essendo basso-emissivi e a controllo solare.
- **VETRI DIFFUSORI**: sono i vetri smerigliati, satinati, ornamentali e prismatici che fanno passare la luce, ma impediscono la visione attraverso. Questi vetri diffondono la luce e sono pertanto usati per conferire agli ambienti un illuminamento più omogeneo.



Dove e come intervenire: Vetrate

Principali tipologie di vetri per l'edilizia (2/3)

VETRO ASSORBENTE O ATERMICO: colorati nella massa o con rivestimento di pellicole naturali, consentono il controllo dell'irraggiamento solare per assorbimento energetico in modo proporzionale allo spessore della lastra e all'intensità della colorazione.

La trasmissione luminosa si riduce in funzione dell'intensità della colorazione. Poiché si riduce la trasmissione della luce, allora si riduce anche l'illuminazione naturale in ambiente, per cui potrebbe essere necessario ricorrere all'illuminazione artificiale.

Inoltre i vetri colorati alterano lo spettro della luce naturale e quindi anche i colori degli oggetti. La produzione di questo particolare vetro richiede più energia, è più inquinante rispetto a quella di altri ed è inoltre meno facilmente riciclabile.



Dove e come intervenire: Vetrate

Principali tipologie di vetri per l'edilizia (3/3)

VETRI FOTOCROMATICI

Diventano più o meno scuri con l'aumento o la diminuzione della luce diurna. L'effetto si ottiene con l'aggiunta di **sali d'argento drogati con rame**.

VETRI DI SICUREZZA

Si trovano in due versioni a **uno o a due strati**. Quelli ad un solo strato possono essere **armati da una fine rete metallica** (vetro retinato), oppure sono di un materiale speciale che, in caso di rottura, si scompone in piccoli frammenti non taglienti grazie alla tensione interna del vetro, ottenuta portando il materiale ad una temperatura di oltre 600°C e raffreddandolo rapidamente in acqua.

Altri vetri di sicurezza sono composti di due o più strati di cristallo collegati da pellicole sintetiche, trasparenti (polivinilbutirrale) che, in caso di rottura, ritengono i frammenti. **I vetri di sicurezza sono utilizzati in edilizia, soprattutto per finestre di grandi dimensioni, serre, balconi vetrati, ecc.**



Dove e come intervenire: Vetrate

CONTROLLO SOLARE E RIFLETTENTI

Il vetro a **controllo solare** è un prodotto ad elevato contenuto tecnologico che consente la trasmissione della luce solare (**campo del visibile**) attraverso una finestra o la facciata di un edificio, operando contemporaneamente la riflessione all'esterno di parte delle altre lunghezze d'onda.

Per questa loro caratteristica sono anche detti **vetri riflettenti**.

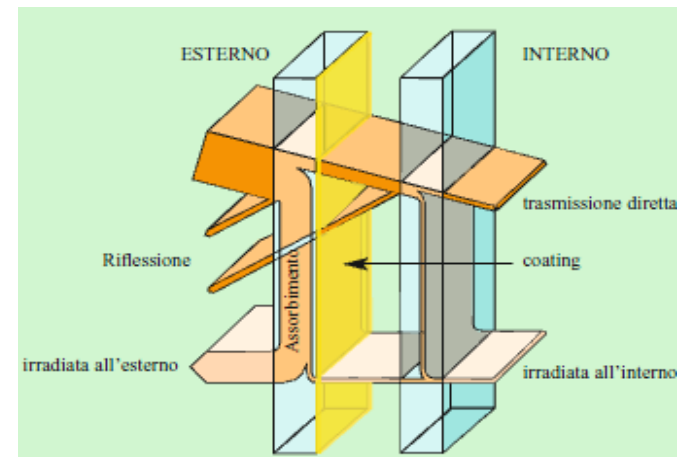
In questo modo gli spazi interni **rimangono discretamente luminosi** e molto più freschi rispetto a quanto ottenibile con impiego di vetro normale.

In ogni caso, rispetto ad un vetro float, anche il valore della trasmissione luminosa è più basso, oltre ad essere più basso il fattore solare "g".

Sono adatti per edifici collocati in zone caratterizzate da un clima caldo.

Dove e come intervenire: Vetrate

Il vetro **a controllo solare**, che non necessariamente deve essere colorato o a specchio (anche se è possibile applicare tali finiture per motivi estetici), incorpora degli strati invisibili di speciali materiali (**principalmente argento**) che possiedono la duplice proprietà di riflettere verso l'esterno direttamente o a seguito di assorbimento ed emissione l'energia solare incidente, facendola passare solo in parte. Di norma è presente anche una vetrocamera, che garantisce in più un buon isolamento termico.



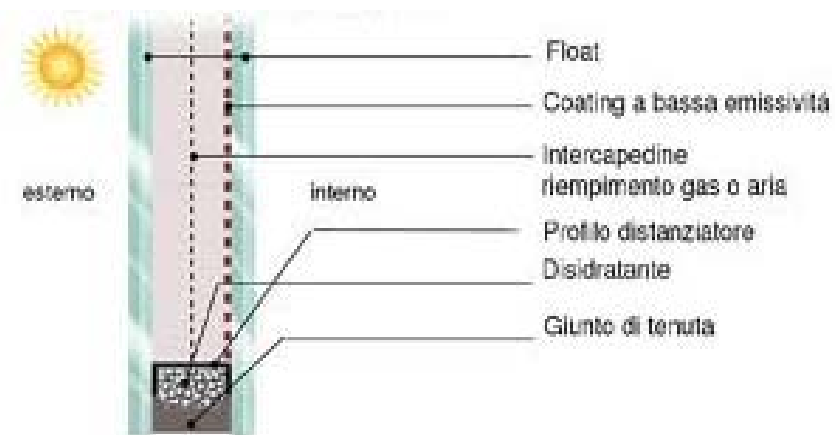
Dove e come intervenire: Vetrate

VETRI BASSO EMISSIVI (LOW-E): Questi vetri hanno la caratteristica di riflettere verso l'interno una parte del flusso irraggiato dalle fonti endogene, ottimizzando l'isolamento termico senza penalizzare eccessivamente l'apporto di luce ed energia solare proveniente dall'esterno.

L'energia irradiata dalle fonti endogene in ambiente è **nello spettro infrarosso**, rispetto al quale il rivestimento basso emissivo è opaco.

Sono vetri prodotti tramite il deposito di uno o più strati di ossidi metallici e di metalli ottenuti per polverizzazione catodica sottovuoto in campo elettromagnetico.

Le caratteristiche variano in funzione dei materiali depositati e soprattutto del procedimento di produzione.





Dove e come intervenire: Vetrate

VETRI BASSO-EMISSIVI (LOW-E). Il deposito sulle lastre deve essere contemporaneamente “**opaco**” al flusso irraggiato dall’interno e “**trasparente**” a quello incidente dall’esterno.

Tale effetto è reso possibile **disponendo opportunamente la griglia di particelle metalliche**, in modo tale che la lastra sia attraversata dall’esterno da lunghezze d’onda estremamente ridotte e che sia impenetrabile per quelle di maggiore ampiezza. I valori di emissività (0,2-0,1) e di trasmittanza del coating sono molto bassi.

Il trattamento basso-emissivo può essere ottenuto:

- per via chimica, durante la fase di produzione del vetro piano (**deposito pirolitico**);
- per via fisica, in campo magnetico controllato e sottovuoto, fuori dalla linea di produzione della lastra (**deposito magnetronico o per elettrolisi**).

I metalli utilizzati per realizzare un vetro basso emissivo sono l’argento, il piombo e lo zinco.

Quando un vetro basso-emissivo è utilizzato come uno dei componenti il vetrocamera, il potere isolante dell’intercapedine d’aria si somma alla barriera termica offerta dallo strato a bassa emissività.



Dove e come intervenire: Vetrate

VETRI SELETTIVI. Sono dei vetri bassi-emissivi che svolgono un'azione di filtro nei confronti della radiazione solare, riducendo la trasmissione del calore per irraggiamento. **Tali vetri, pertanto, uniscono le caratteristiche dei due vetri precedentemente descritti.**

Sono prodotti con l'impiego di lastre colorate o con deposito magnetronico, e vengono solitamente confezionati in vetrocamera in modo da raggiungere il doppio obiettivo, ovvero isolare termicamente (basso-emissività) e filtrare i raggi solari.

Sono spesso impiegati nella realizzazione di grandi vetrate o facciate continue pluri-piano.

A differenza dei vetri a controllo solare, permettono un maggior passaggio del flusso luminoso a fronte di un sempre limitato apporto energetico della radiazione solare.



Dove e come intervenire: Vetrate

VETROCAMERA

Nella costruzione di finestre **non si usano quasi più vetri a lastra singola**. Le normali vetrate usate oggi sono **composte da due o più lastre di vetro montate ad una certa distanza**.

Le lastre di vetro possono essere di vario tipo e lo spessore dell'intercapedine può variare. **L'intercapedine può essere riempita con differenti gas (aria disidratata, argon, krypton, esafluoruro di zolfo)**.

Questa tecnica consente di conferire alla vetrata particolari caratteristiche termiche, acustiche ed ottiche. Per applicazioni speciali, per esempio per finestre di edifici a bassissimo consumo energetico, si usano anche **vetri a tre lastre e due intercapedini riempite con un gas nobile**.

Le caratteristiche termiche dipendono soprattutto dalla conducibilità termica del vetro che varia tra 1.0 e 1.4 W/(mK) e da quella del gas contenuto nell'intercapedine.



Dove e come intervenire: Vetrate

Proprietà fisiche dei gas da vetrocamera

proprietà	gas															
	aria				argon				krypton				esafluoruro di zolfo			
$T [^{\circ}\text{C}]$	-10	0	10	20	-10	0	10	20	-10	0	10	20	-10	0	10	20
$\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$	1,33	1,28	1,23	1,19	1,83	1,76	1,70	1,64	6,84	6,60	6,36	6,12	3,83	3,69	3,56	3,43
$\mu [10^{-5} \text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})]$	1,66	1,71	1,76	1,81	2,04	2,10	2,16	2,23	1,38	1,42	1,46	1,49	2,26	2,33	2,40	2,47
$\lambda [10^{-2} \text{W}/\text{m K}]$	2,34	2,42	2,50	2,58	1,58	1,63	1,68	1,73	1,12	1,20	1,28	1,35	0,84	0,87	0,90	0,93
$c [10^{-3} \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	1,008				0,519				0,614				0,245			



Dove e come intervenire: Vetrate

VETROCAMERA

Il gas più semplice e più usato per riempire l'intercapedine è l'aria che ha una conducibilità termica pari a 0.026 W/mK .

Gli altri gas usati per riempire le intercapedini (argon, krypton) hanno tutti una minore conduttività. La conducibilità termica dell'argon è di 0.017 W/mK , quella del krypton di 0.009 W/mK .

Tra le vetrate usate in edilizia, la trasmittanza termica più bassa la possiedono **quelli a tre lastre e intercapedini riempite con krypton**. La loro trasmittanza è di $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre i vetri a due lastre e un'intercapedine riempita con aria hanno una trasmittanza variabile tra 3.3 e $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Le lastre sono separate ai bordi da un **distanziatore**. Tra il distanziatore e le lastre di vetro si trova in genere **la prima guarnizione di tenuta, che protegge l'intercapedine dall'ingresso di umidità dall'esterno**.



Dove e come intervenire: Vetrate

VETROCAMERA

Inoltre, sotto il distanziatore e tra le singole lastre viene disposta **un'altra sostanza sigillante, che serve da seconda guarnizione di tenuta** e per incollare lastre e distanziatore.

Nel distanziatore si trova un **assorbente che elimina l'umidità dall'intercapedine ermeticamente sigillata**. I sistemi di tenuta impediscono che abbia luogo uno scambio di gas tra l'intercapedine e l'aria esterna, evitando il possibile ingresso di umidità nell'intercapedine.

L'unione al perimetro del vetrocamera, se non è effettuata con il silicone, deve essere protetta dalla radiazione solare. Nelle lastre che non alloggiavano in una scanalatura di vetro, la necessaria ombreggiatura del sistema di tenuta può essere conseguita con una smaltatura o un diverso rivestimento.

Dove e come intervenire: Vetrate

VETROCAMERA

La figura mostra come si ripartisce, in un vetro singolo il flusso radiante incidente Φ_e

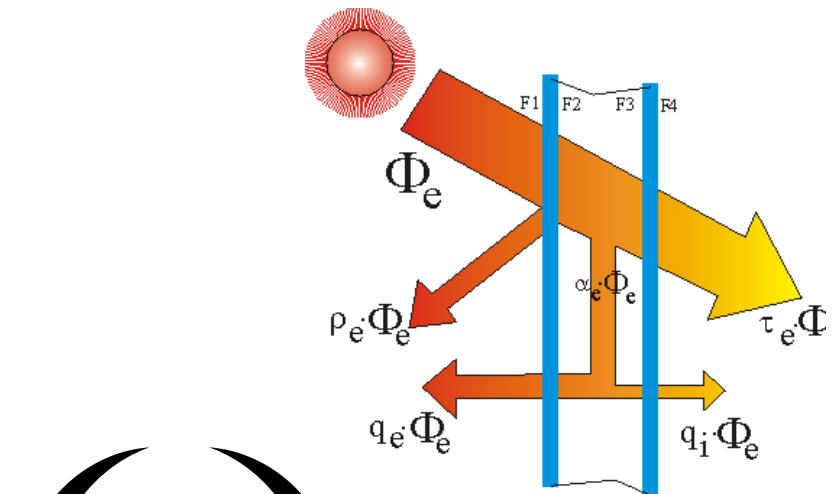
- una parte è **riflessa** $\Phi_e * \rho_e$
- una parte è **direttamente trasmessa** $\Phi_e * \tau_e$
- una parte è **assorbita** $\Phi_e * \alpha_e$

ove:

ρ_e è il **coefficiente di riflessione**

τ_e è il **coefficiente di trasmissione**

α_e è il **coefficiente di assorbimento**



$$\rho_e + \tau_e + \alpha_e = 1$$

IL FATTORE SOLARE “g”, caratteristico delle vetrate, esprime la quota parte di energia raggiante trasmessa più quella assorbita e trasferita all’interno.

Pertanto, “g” = $\tau_e + q_i$



Dove e come intervenire: Vetrate

Per valutare **la potenza entrante nell'ambiente interno**, sia dovuta all'irraggiamento solare, sia dovuta alla differenza di temperatura, si usa la seguente equazione (riferita ad una superficie unitaria).

$$\dot{Q} = A_g \cdot U_g \cdot (T_E - T_i) + I \cdot g \cdot A_g$$

Ove il segno è stato scelto in modo che la potenza termica sia positiva (in estate) quando $T_E > T_i$



Dove e come intervenire: Vetrate

Per limitare la potenza entrante in regime estivo, si può agire:

1. o sul primo termine (scambi forzati dalla differenza di temperatura)
2. o sul secondo termine (connesso all'irraggiamento solare).

A parte la possibilità di usare ombreggianti, si può agire sui due termini del fattore solare, e quindi sulla trasparenza o sull'aliquota di energia assorbita e poi trasmessa all'interno.

La riduzione del primo contributo si può ottenere attraverso l'aumento del coefficiente di riflessione (vetri riflettenti).

Valori tipici del Fattore Solare per le vetrate semplici di color neutro sono intorno al 70 ÷ 80%, mentre per il color bronzo sono dal 35 al 60%.

Per quanto riguarda le vetrate riflettenti i valori di FS vanno dal 20 ÷ 25% delle vetrate di colore verde, al 30 ÷ 40% dei vetri grigio metallizzato.



Dove e come intervenire: Vetrate

Per quanto attiene il **primo termine**, gli interventi di contenimento della potenza entrante riguardano la **diminuzione della trasmittanza** della parete vetrata.

Una possibilità potrebbe essere quella di aumentare lo spessore del vetro ma la soluzione più efficace è quella di impiegare le “**vetrate isolanti**”, come quelle a comportamento **basso-emissivo**, e quelle costituite da **vetrocamera con gas isolanti**.

Si aggiunge, dunque, la **resistenza termica del gas** che, avendo una conducibilità molto inferiore a quella del vetro, aumenta la resistenza termica complessiva, abbassando in modo consistente la trasmittanza.

Relativamente all'irraggiamento, la sua entità può essere modificata da particolari trattamenti applicati alle superfici che ne modificano l'emissività.

Si hanno i cosiddetti vetri basso-emissivi. Si può in tal modo aumentare notevolmente la resistenza termica, quindi abbassare la trasmittanza. **Il rivestimento basso-emissivo in pratica riflette verso l'interno buona parte del flusso di calore dovuto all'irraggiamento.**



Dove e come intervenire: Vetrate

Il prospetto seguente fornisce i valori della trasmittanza termica U_g di vetro monolitico e doppie vetrate riempite con differenti gas calcolati in conformità con la EN 673. **I valori si riferiscono alle emissività e alle concentrazioni di gas date.**

vetro	trattamento	dimensioni [mm]	U_g [W/m ² K]			
			Aria	Argon	krypton	
monolitico	non trattato, $\varepsilon \cong 0,89$	4	5,8			
		6 ÷ 8	5,7			
		10	5,6			
	medio emissivo, $\varepsilon < 0,4$	6 ÷ 8	4,3			
vetrocamera con doppio vetro	non trattato $\varepsilon \cong 0,89$	4-6-4		3,3	3,0	2,8
		4-9-4		3,0	2,8	2,6
		4-12-4		2,9	2,7	2,6
		4-15-4		2,7	2,6	2,6
		4-20-4		2,7	2,6	2,6
	medio emissivo $\varepsilon < 0,4$	4-6-4		2,9	2,6	2,2
		4-9-4		2,6	2,3	2,0
		4-12-4		2,4	2,1	2,0
		4-15-4		2,2	2,0	2,0
		4-20-4		2,2	2,0	2,0
	bassoemissivo $\varepsilon < 0,2$	4-6-4		2,7	2,3	1,9
		4-9-4		2,3	2,0	1,6
		4-12-4		1,9	1,7	1,5
		4-15-4		1,8	1,6	1,6
		4-20-4		1,8	1,7	1,6
	bassoemissivo $\varepsilon < 0,05$	4-6-4		2,5	2,1	1,5
		4-9-4		2,0	1,6	1,4
		4-12-4		1,7	1,3	1,1
		4-15-4		1,5	1,2	1,1
		4-20-4		1,5	1,2	1,2



Potere fonoisolante

Il D.P.C.M 5/12/1997 "**Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici**", entrato in vigore nel Marzo 1998, ha determinato l'obbligo di progettare e costruire secondo parametri precisi per garantire l'isolamento acustico. Si devono tener presenti alcuni concetti essenziali di validità generale che costituiscono un utile riferimento nella scelta delle tecnologie più adeguate e soprattutto per evitare errori la cui correzione a posteriori è impossibile o molto onerosa.

Il D.P.C.M. 5/12/1997 **impone valori massimi ai livelli di rumore delle sorgenti interne agli edifici, ed il rispetto dei requisiti acustici passivi dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.**

Categoria	Destinazione d'uso	Fonoisolamento di facciata
A	Residenza o assimilabili	40
B	Uffici e assimilabili	42
C	Alberghi, pensioni e attività assimilabili	40
D	Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	45
E	Attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	48
F	Attività ricreative o di culto o assimilabili	42



Potere fonoisolante

Il potere fonoisolante R quantifica la capacità di un componente di **ridurre la trasmissione del suono** incidente su di esso. R varia al variare della frequenza e delle proprietà fisiche, delle dimensioni e delle condizioni di vincolo del componente. Nella progettazione della costruzione si scelgono gli indici di attenuazione R di ciascun elemento costruttivo. **Il peso e le camere d'aria del doppio e triplo vetro garantiscono, oltre ad isolamento termico, anche un migliore isolamento acustico.**

Le caratteristiche fonoisolanti sono migliorate con l'uso di lastre con spessori differenti e messe a distanze differenti, **così ogni lastra abbatte una specifica banda di frequenza.**

Proprietà fonoisolante (suono d'aria) di finestre	
Finestra a un vetro senza guarnizione	fino a 15 dB
Porta semplice con soglia	fino a 20 dB
Porta pesante con soglia e guarnizioni	fino a 30 dB
Finestra a un vetro con guarnizione	fino a 25 dB
Finestra a doppio vetro con guarnizione	fino a 35 dB
Finestra a triplo vetro con guarnizione	fino a 43 dB

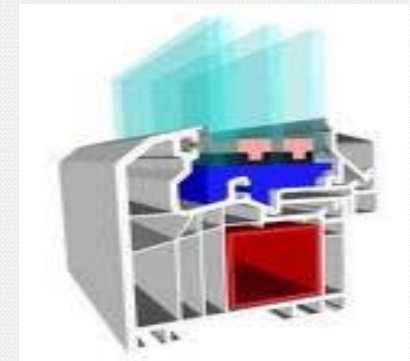


I sistemi che contengono vetri ad alte prestazioni richiedono un adeguato isolamento anche per quel che riguarda i distanziatori di bordo e per il serramento.

Se queste prestazioni non vengono raggiunte, i benefici ottenibili dal vetro risultano diminuire in modo significativo. Ad esempio, sebbene una vetrata isolante convenzionale con un vetro basso emissivo pirolitico e riempita con argon raggiunga valori U compresi tra 1.5 e 1.9 W/m²K, se non opportunamente isolata con serramenti in legno, plastica, alluminio o acciaio può raggiungere valori U compresi tra 2.8 e 7.0 W/m²K.

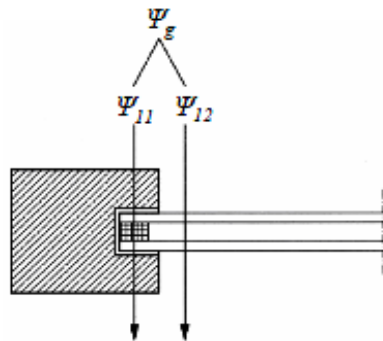
Pertanto l'isolamento termico della finestra completa è costituito da tre componenti:

- ✓ Il vetro.
- ✓ Il distanziatore nella vetrata isolante.
- ✓ Il telaio.
- ✓ Il cassonetto dell'avvolgibile, ove presente.

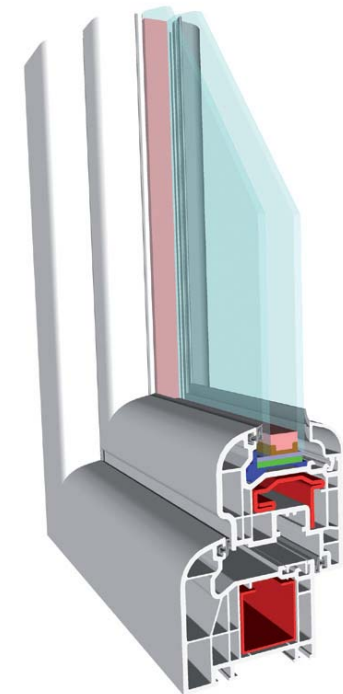


Dove e come intervenire: Finestra = Vetro + Telaio

Secondo norma, la trasmittanza globale della finestra deve essere calcolata come trasmittanza **media ponderata** rispetto alle aree effettive del vetro A_g [m²] e del telaio A_f [m²].



$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + I_g \psi_g}{A_g + A_f}$$



Ψ_g la **trasmittanza termica lineare** dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziatore e del telaio. Nel caso di vetrata singola tale termine è nullo (nessun effetto del distanziatore) poiché ogni correzione è trascurabile.

Dove e come intervenire: Finestra = Vetro + Telaio

Le lastre componenti delle vetrate isolanti sono tenute separate attraverso un canalino distanziatore ad esse sigillato.

La presenza del canalino distanziatore in alluminio in vetrata isolante incrementa il valore della trasmittanza complessiva per effetto del “**corto circuito**” termico sul bordo.

Questo provoca un abbassamento della temperatura nella zona di bordo, causando spesso condensazione sul vetro o, in condizioni climatiche invernali severe, brina o ghiaccio.

L'effetto del distanziatore può aggiungere fino al 10% al valore U della finestra.



Dove e come intervenire: Finestra = Vetro + Telaio

L'isolamento termico del serramento è importante, dal momento che la percentuale generale del telaio dal punto di vista dell'area, **può rappresentare dal 10 al 20% (e talvolta di più)** rispetto dell'apertura totale della finestra.

I serramenti **in legno** garantiscono isolamento termico essendo la loro conduttività termica relativamente bassa (approssimativamente $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Le **materie plastiche** hanno una conduttività termica più alta ma le caratteristiche in un serramento possono essere migliorate progettando nel **profilo varie camere chiuse**.

I serramenti possono anche prevedere dei **rinforzi in acciaio** per aumentarne la resistenza meccanica ma l'elevata conduttività dell'acciaio penalizza il valore U totale.

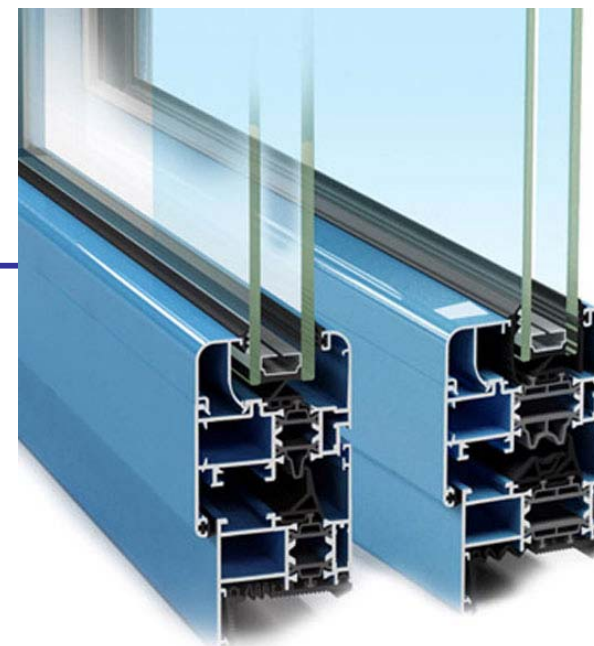


Dove e come intervenire: Finestra = Vetro + Telaio

Gli **infissi "a taglio termico"** sono particolari infissi, generalmente in alluminio, atti a garantire una migliore tenuta nei confronti delle dispersioni termiche e a risolvere il problema del ponte termico in corrispondenza dei serramenti.

I profilati a "taglio termico" si basano sul principio dell'**interruzione della continuità del metallo** attraverso l'inserimento di un opportuno materiale a **bassa conducibilità** termica in corrispondenza di una camera interna al profilato.

Il sistema più diffuso consiste nell'iniettare una schiuma poliuretanicca all'interno del profilato estruso e provvedere alla successiva asportazione meccanica di strisce dell'estruso.





Cosa prevede la norma per le trasmittanze dei Telai

Per le prestazioni dei telai possono essere utilizzati sia metodi numerici (agli elementi finiti, alle differenze finite) in conformità con il prEN ISO 10077-2 sia i valori ottenuti direttamente da misure utilizzando i metodi della camera calda in conformità con il prEN 12412-2.

Se nessuna informazione è disponibile, è possibile utilizzare nei calcoli i valori derivabili da prospetti e grafici per i corrispondenti tipi di telaio riportati dalla norma UNI EN ISO 10077-1, precedentemente analizzata. Ad esempio si ha:

Valori di U_f per telai in metallo

Telaio	U_f [W/m ² K]
con taglio termico	3,0 ÷ 3,7
senza taglio termico	7



Dove e come intervenire : Telai

I tipi e le caratteristiche dei serramenti variano principalmente in funzione del materiale utilizzato. Si avranno quindi:

Serramenti in legno o legno lamellare. Il legno è un materiale a lungo utilizzato nella realizzazione di serramenti. Ha il pregio di avere **bassi valori di trasmittanza termica** e conferisce alle finestre una valenza estetica irraggiungibile con altri materiali.

I maggiori problemi sono rappresentati dalla necessità di operazioni di **manutenzione periodica** e dalla possibilità che nel tempo il serramento non mantenga le sue prestazioni originali.

Serramenti in metallo. Il metallo, generalmente acciaio o alluminio, è un materiale dalle ottime caratteristiche di resistenza meccanica. Per questa ragione viene spesso scelto per la realizzazione di serramenti di grandi dimensioni. **Presenta però elevati valori di trasmittanza** e può dare quindi problemi di isolamento termico (nelle soluzioni che non prevedono il “taglio termico”).



Dove e come intervenire : Telai

Serramenti in materiale plastico. Hanno buone caratteristiche di resistenza meccanica e termica, ma presentano spesso un aspetto poco gradevole. Per questo motivo vengono sconsigliati in caso di ristrutturazioni di immobili di pregio o situati nei centri storici. **In realtà, oggi gli infissi in PVC sono realizzati con finitura gradevole anche dal punto di vista estetico.**

Serramenti in materiali misti. Sono generalmente costituiti per metà da materiale plastico o metallico e per metà da legno. Il legno è di norma posto sul lato interno del serramento, in modo da valorizzare gli ambienti interni, dove le sollecitazioni sono minori ed il materiale non è sottoposto all'azione logorante degli agenti atmosferici. **Il lato esterno è realizzato in materiale plastico o metallico**, in modo da garantire maggiore resistenza a tutto il serramento. Il serramento così ottenuto presenta buone caratteristiche di resistenza sia termica che alle sollecitazioni. Rimangono in ogni caso le problematiche legate alla valenza estetica in edifici di pregio.



Approfondimento sui materiali: Telai

LEGNO

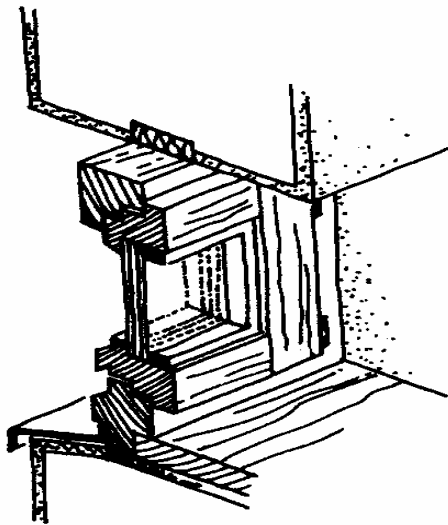
Nelle vecchie costruzioni si trovano ancora delle finestre in legno con telai sottili e vetri semplici con il problema della condensa in inverno sul lato interno delle lastre. In passato, per evitare questo inconveniente, in inverno si montava una seconda finestra davanti alla prima, a una distanza di 10-20 cm.

L'aria presente tra le due finestre conferiva un certo isolamento termico e preveniva la formazione di condensa (le doppie finestre compaiono ancora nei manuali tecnici degli anni '50). Le due finestre occupavano molto spazio e richiedevano montaggi e smontaggi, per questa ragione si passò successivamente alla combinazione delle due ante.

Con doppie finestre dotate di vetri a camera d'aria si possono raggiungere valori $U > 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e perciò vengono prevalentemente usate nelle case a basso consumo energetico. Il potere fonoisolante è di circa 50 dB.

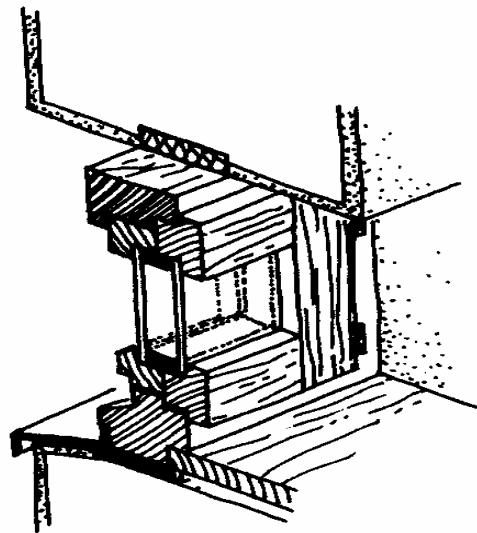
Approfondimento sui materiali: Telai

Finestra semplice con
vetro a camera d'aria



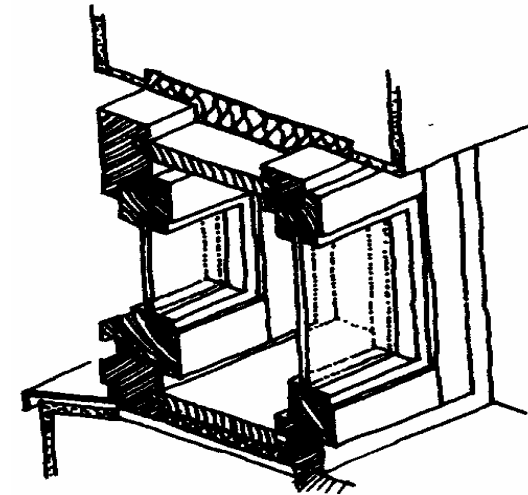
$$U = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$
$$R = 28 \text{ dB}$$

Finestra combinata con
due vetri semplici



$$U = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$
$$R = 34 \text{ dB}$$

Doppia finestra
con vetri semplici



$$U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$
$$R = 44 \text{ dB}$$



Approfondimento sui materiali: Telai

ALLUMINIO

Le finestre costruite con profilati di alluminio possiedono **un' elevata resistenza alle intemperie**, hanno una lunga vita e richiedono poca manutenzione, di solito sono placcate o anodizzate.

Quelle ad alta tenuta, dotate di lastre a doppio o triplo vetro, garantiscono un buon isolamento acustico. **Meno vantaggiosa è invece l'elevata conducibilità termica dell'alluminio** e molti telai sono pertanto composti da vari profilati tra i quali è interposta una membrana isolante (**il cosiddetto taglio termico**), ma nonostante ciò i ponti termici non sono del tutto evitabili.

L'alluminio consente la costruzione di finestre di ampie dimensioni. **La riciclabilità dell'alluminio recuperato dalle finestre è generalmente alta. Il riciclo richiede solo il 5-10% dell'energia impiegata nella produzione del materiale nuovo.**

Approfondimento sui materiali: Telai

LEGNO-ALLUMINIO e ALLUMINIO-LEGNO

I pregi del legno e dell'alluminio hanno condotto alla costruzione di finestre combinate composte da due telai, uno in legno e l'altro in alluminio, avvitati l'uno all'altro.

Legno/alluminio. L'elemento interno di legno costituisce l'elemento portante e possiede buone caratteristiche termoisolanti, mentre quello esterno in alluminio è più resistente alle intemperie. Questa combinazione rende le finestre molto più resistenti e durevoli.

Il recupero dell'alluminio è facilitato dal fatto che il telaio esterno è solamente avvitato su quello in legno.

Tali finestre **non devono essere confuse** con quelle in **alluminio/legno**, in cui il telaio portante è quello metallico ed il legno funge solo da rivestimento interno. Questa soluzione, esteticamente identica, è più economica e meno pregiata.





Approfondimento sui materiali: Telai

PVC

Le finestre costruite con profilati di PVC, oltre a possedere buone caratteristiche termoisolanti, **non richiedono significativa manutenzione.**

I profilati in PVC sono però sensibili ai raggi UV e quindi possono degradarsi sotto l'effetto prolungato dell'irraggiamento solare.

La produzione del PVC deve, inoltre, avvenire senza pregiudizio dell'ambiente. Il PVC per finestre si ottiene per estrusione a caldo.

I materiali plastici, in caso di incendio, emettono gas tossici, quali acido cloridrico, nonché diossine e furani policlorati.

Lo smaltimento dei vecchi infissi in inceneritori o su discariche è molto problematico a causa dei metalli pesanti contenuti. Il riciclaggio degli infissi in PVC è ancora in fase di studio. È previsto il recupero e il riuso del PVC (fino all'80-90%) per la produzione di nuovi infissi.



Dove e come intervenire: Finestra = Vetro + Telaio

Il prospetto seguente fornisce i valori della trasmittanza termica delle finestre U_w per alcune e più comuni tipologie di serramento con **vetro monolitico e doppie vetrate** riempite con aria calcolati in conformità con la EN 673.

Vetro	Spessore intercapedine con aria [mm]	Telaio	U_w [W/m ² K]
monolitico	-	legno	5,0
		metallo	5,8
vetrocamera con doppio vetro	4,5 ÷ 7,0	legno	3,3
		metallo	4,7
	7,0 ÷ 10	legno	3,0
		metallo	3,9
	10 ÷ 14	legno	2,4 ÷ 2,6
		alluminio senza taglio termico	3,8 ÷ 4,6
		alluminio con taglio termico	2,9 ÷ 3,2
		alluminio-legno	2,5



Costi indicativi

COMPONENTE	COSTO [€/m²]
Vetrocamera normale	45 ÷ 55
Vetrocamera con Argon	55 ÷ 75
Vetrocamera con una lastra bassoemissiva	80 ÷ 105
Telaio in alluminio senza taglio termico	120 ÷ 180
Telaio in alluminio con taglio termico	160 ÷ 270
Facciata continua	300 ÷ 400
Facciata continua doppia pelle	650 ÷ 1000



Dove e come intervenire: Finestra = Vetro + Telaio

La causa principale delle dispersioni, soprattutto negli edifici esistenti in cui la soluzione più comune è l'**accoppiamento finestra-avvolgibile**, non è il serramento, bensì ciò che vi è attorno:

- il raccordo tra infisso e muro;
- il davanzale passante in marmo;
- la nicchia per il termosifone;
- la posizione del serramento a filo muro interno.
- Il cassonetto

Per evitare gli spifferi, **gli spazi tra infisso e parete possono essere riempiti con schiume sintetiche** (che garantiscono una buona tenuta, ma sono ecologicamente poco sostenibili a causa di probabili emissioni di formaldeide) o **trecce di fibre di lino, cotone o cocco**, oppure, se le normative richiedono un materiale incombustibile, di **lana di roccia**.

Dove e come intervenire: I cassonetti

Le responsabilità maggiori vanno al controtelaio per la posa della finestra e **al cassonetto per le tapparelle avvolgibili**. Quando il controtelaio è in metallo, il materiale conduttore crea un ponte termico tra esterno e interno, veicolando le dispersioni in inverno e le rientrate termiche in estate.

Ma è soprattutto il cassonetto per le tapparelle a rendere critico l'isolamento del foro finestra.

Il cassonetto rappresenta un punto di discontinuità dell'involucro opaco dell'edificio, in quanto costituito da strati di **materiali sottili e spesso non isolati**, talora permeabili all'aria, che rendono critico l'isolamento del foro finestra:

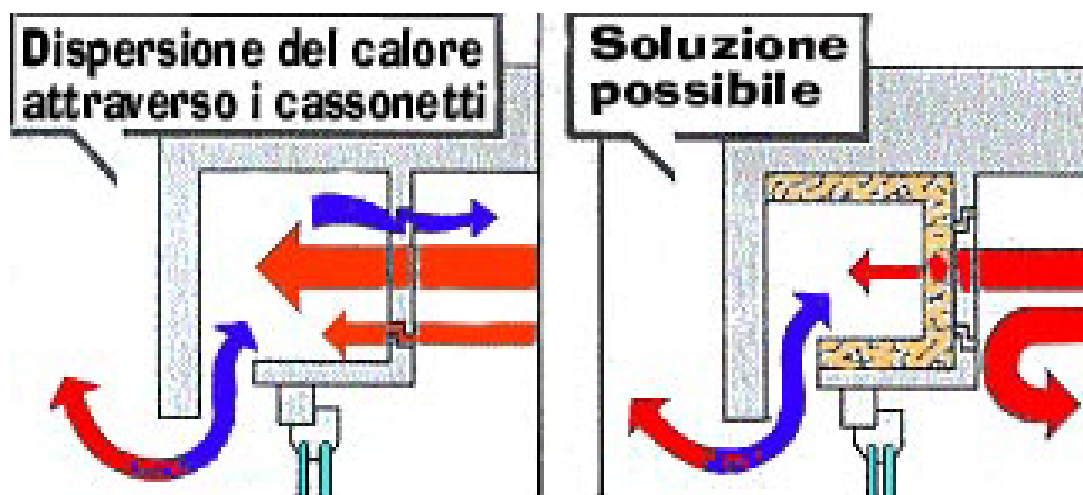
- **a livello termico**, perché l'aria esterna entra nella cavità che accoglie il rullo dell'avvolgibile;
- **a livello acustico**, perché insieme all'aria “entra” il rumore, amplificato dallo spazio vuoto che funge da cassa di risonanza.



Dove e come intervenire: I cassonetti

La **coibentazione termica di un cassonetto** è una operazione molto semplice e poco costosa, laddove c'è spazio sufficiente (almeno 2 cm) per applicare l'isolante.

Con un intervento, di messa in opera di uno strato di isolante, a fronte di un costo di circa 20 euro/m² di cassonetto, si può ottenere un risparmio notevole relativamente alle dispersioni energetiche e quindi ai costi per il riscaldamento



Inoltre, non sottovalutare le operazioni di manutenzione periodica, poiché nel cassonetto, specialmente se non ben sigillato, possono facilmente annidarsi polvere, umidità e muffe che andrebbero a deteriorare il comfort all'interno dell'ambiente adiacente.

Dove e come intervenire: Infiltrazioni di Aria

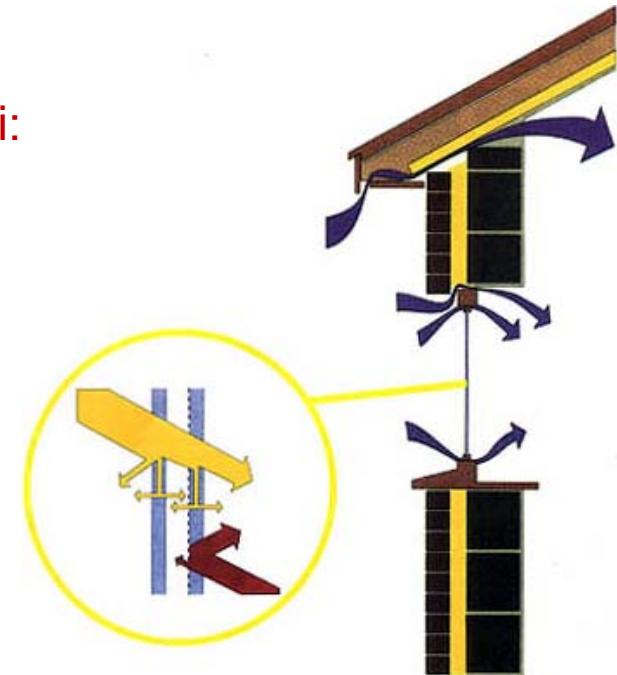
Le **infiltrazioni** incontrollate provenienti dalle finestre **possono provocare dei ricambi d'aria eccessivi**, che devono quindi essere ridotti.

Il problema evidentemente si pone maggiormente per i vecchi serramenti, che col tempo non riescono più a garantire una **tenuta all'aria** sufficiente. **L'eliminazione delle infiltrazioni, inoltre, evita che all'interno del locale si creino delle zone con correnti d'aria fredda incontrollate.**

Per risolvere questo problema esistono diverse soluzioni:

- Installazione di guarnizioni isolanti in gomma;
- Inserimento di un **secondo serramento**.

Queste soluzioni, relativamente economiche, portano ad un risparmio energetico immediato.





Dove e come intervenire: Infiltrazioni di Aria

Installazione di guarnizioni isolanti in gomma per infissi: consente di ridurre le infiltrazioni d'aria e di umidità tramite i serramenti. I costi dell'intervento sono di circa 10 euro/m² di infisso. Si tratta di un intervento di semplice realizzazione, adatto anche al fai da te, che assicura un ottimo ritorno economico dell'investimento. **Le guarnizioni utilizzate sono generalmente in gomma. In alternativa, è possibile utilizzare del silicone sigillante.**

Inserimento di un secondo serramento: nel caso di infissi **estremamente carenti** dal punto di vista dell'isolamento, ma che non possono essere sostituiti per motivazioni ad esempio di carattere estetico, si può anche inserire un secondo serramento all'interno dell'ambiente. In questo modo la capacità isolante dell'infisso ed il comfort abitativo aumentano sensibilmente, con risparmi di energia del 15-20%.

Il costo per questo tipo di intervento è di circa 200 euro/m² di infisso. **Questo intervento è possibile unicamente nei casi in cui vi sia lo spazio sufficiente per inserire un secondo infisso, internamente o esternamente rispetto a quello già esistente.** Si possono utilizzare infissi in legno, in alluminio, in PVC, oppure con accoppiato legno ed alluminio.



Dove e come intervenire: Schermature

Le **schermature solari** hanno una notevole importanza nell'economia energetica di un edificio, in quanto in estate assicurano **effetti d'ombra** che contribuiscono a **ridurre il carico termico**, poiché la luce naturale e gli apporti solari che attraversano le finestre, in inverno sono apporti gratuiti, **ma in estate possono provocare il surriscaldamento degli ambienti.**

Una schermatura deve essere scelta **prendendo in considerazione sia il periodo invernale che quello estivo, in relazione alla latitudine e alle condizioni specifiche del contesto.**

L'efficacia delle schermature solari dipende dalla tipologia del **materiale utilizzato**, dalla **posizione, dal controllo**, dalla **adattabilità alla variabilità della luce cui sono esposte.**

Le schermature possono essere distinte in base alla:

- Geometria: orizzontali e verticali;
- posizione: esterne e interne;
- modalità di gestione: fisse e mobili.

Dove e come intervenire: Schermature

Le schermature orizzontali, a soletta o a doghe, sono efficaci se di dimensioni opportune e collocate sulla facciata Sud dell'edificio, poiché impediscono la penetrazione della radiazione diretta nelle ore centrali delle giornate estive, consentendo l'apporto solare invernale (alle latitudini medio-alte).

Le schermature verticali sono efficaci sulle esposizioni Est ed Ovest.

A differenza delle schermature a lame orizzontali, consentono una buona comunicazione visiva tra ambiente interno ed ambiente esterno.





Dove e come intervenire: Schermature

Sistemi di schermatura all'esterno: E' la soluzione ottima, perché gli elementi ombreggianti **bloccano la radiazione prima che entri nell'edificio**, ma hanno lo svantaggio di necessitare di periodiche manutenzioni perché esposte agli agenti atmosferici. **Dovendo resistere al vento e alla pioggia devono essere di buona qualità.**

Sistemi di schermatura all'interno dei locali: non sono molto efficaci contro il surriscaldamento ma hanno il vantaggio di essere **ben accessibili e di facile manutenzione**. Infatti, attraversato il vetro e raggiunto l'ambiente interno, durante la stagione estiva, la radiazione solare provoca fenomeni di surriscaldamento e di conseguenza il carico termico corrispondente si aggiunge a quello interno.

Le più comuni schermature **nelle case sono le tende di stoffa** che si possono aprire e chiudere a mano secondo le necessità; sono inoltre più leggere e meno costose delle schermature esterne. **Negli uffici si usano spesso tende a lamelle verticali** (materiale sintetico/artificiale) che possono essere aperte e chiuse mediante cordoncini, utili anche a variare l'inclinazione delle lame.



Dove e come intervenire: Schermature

I sistemi di schermatura fissi includono **elementi strutturali come balconate, aggetti orizzontali e verticali**, ed elementi **non strutturali come tettoie, brise-soleil**.

I sistemi di schermatura mobili sono le **tende**, gli **schermi veri e propri**, le **veneziane**, le **persiane**, gli **scuri** e le **tapparelle avvolgibili**.

I più efficaci sistemi sono quelli mobili, perché consentono il controllo della luce in rapporto alla variazione delle condizioni meteorologiche. Il controllo degli schermi può essere sia manuale sia meccanico, la qual cosa comporta l'esigenza di una periodica manutenzione e pulizia.

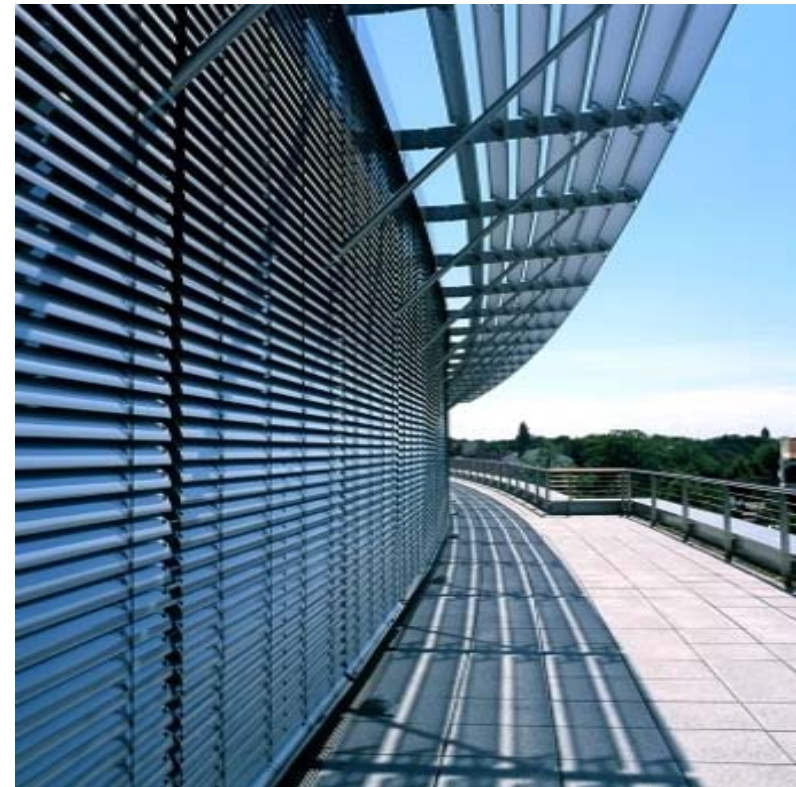
I sistemi **fissi** sono efficaci solo in determinate condizioni di soleggiamento, ma adeguatamente progettati possono impedire il passaggio della luce diretta in estate, nelle ore in cui il sole si trova allo zenit, mentre la lasciano passare in inverno quando il sole è più basso.

I pregi delle schermature fisse sono dati dalla loro **robustezza** (che le rende resistenti a forti venti) e dall'**assenza di componenti meccanici** (sono esenti da frequenti manutenzioni).

Dove e come intervenire: Schermature fisse

Tra i principali sistemi di schermatura fisse a forma di lamelle o di griglia, brise soleil, (briser = spezzare) si distinguono:

- **i brise-soleil orizzontali** realizzati con teli schermanti costituiti da segmenti rigidi fissi (**lamelle, doghe, pale di svariati materiali opachi, forati o traslucidi**), sospesi orizzontalmente con apposite strutture;
- **i brise-soleil verticali o inclinati**, realizzati con teli schermanti costituiti da segmenti rigidi fissi (**lamelle, doghe, pale di svariati materiali opachi, forati o traslucidi**), aggettanti o posizionati parallelamente al filo di facciata.



Dove e come intervenire: Schermature fisse

Le tende a segmenti orientabili, o lamelle, comunemente definite “**tende frangisole**” si differenziano nella prestazione solare in base alla **dimensione della lamella o della doga adottata e alla posizione delle stesse rispetto alla radiazione incidente**; si ricordano:



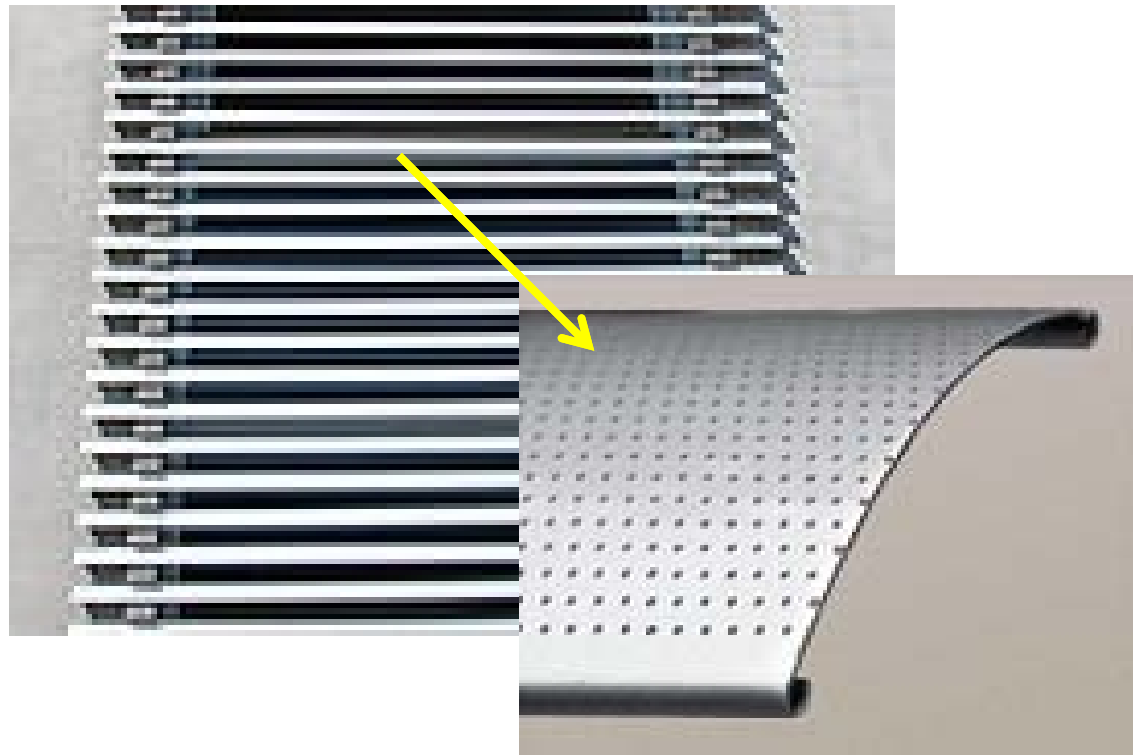
✓ **frangisole a pale verticali**, composti da pale di disegno e dimensione variabile (da 100 a 200 mm, costruite in alluminio estruso, lamiera piegata, legno e vetro), disposte in senso verticale lungo l’asse principale dell’apertura da proteggere, e che **possono ruotare per intercettare la luce solare in relazione alla posizione del sole nel corso della giornata**;

✓ **frangisole a lamelle orientabili**, detti anche “alla veneziana”, composti da leggere lamelle di disegno vario (da 50 a 150 mm, costruite in legno o alluminio), sospese orizzontalmente e impacchettabili, in grado di orientarsi per intercettare la radiazione solare secondo l’angolo solare sull’orizzonte nel corso della giornata o dell’anno.

Dove e come intervenire: Schermature mobili

Benché le veneziane con lamelle orizzontali movibili siano molto efficaci, **in giorni particolarmente soleggiati e luminosi**, le lamelle di queste tende **devono essere tenute in posizione verticale** e ciò rende necessaria l'illuminazione artificiale.

Per questo motivo sono state sviluppate delle **tende con lamelle perforate** che conferiscono agli ambienti interni una luce smorzata anche quando sono chiuse.



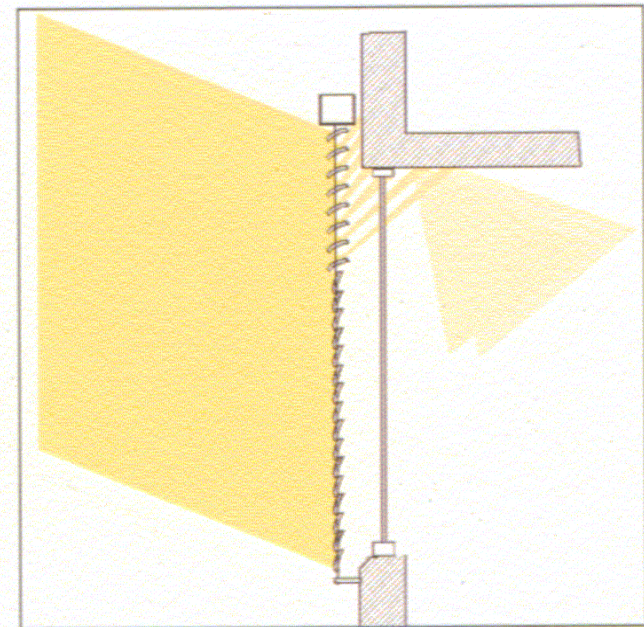
Dove e come intervenire: Schermature mobili

Per edifici residenziali, i sistemi di schermatura più adatti **sono le persiane alla veneziana e gli avvolgibili in legno**, entrambi a sporgere.

Queste schermature non fungono solo da ombreggiatura, ma, durante la notte, quando sono chiuse, aumentano la **capacità termoisolante delle aperture**, non solo tramite la resistenza termica propria, ma anche di quella dello **strato d'aria** racchiuso tra esse e i vetri.

Negli edifici amministrativi e nel terziario sono in uso **anche tende bipartite**.

- *Le lamelle della parte superiore **riflettono la luce al soffitto** degli uffici e quello la riflette nella profondità dell'ambiente.*
- *Le lamelle della parte inferiore **sono invece regolabili individualmente** secondo le esigenze degli utilizzatori.*





Dove e come intervenire: Schermature mobili

Un altro sistema è costituito dalle **tende tessili ribaltabili in tessuto tecnico** che sono estraibili tramite **un meccanismo azionato a mano con una manovella o con un motorino elettrico**. Queste sfruttano le proprietà fisiche e costruttive del telo in tessuto per fornire la prestazione solare desiderata.

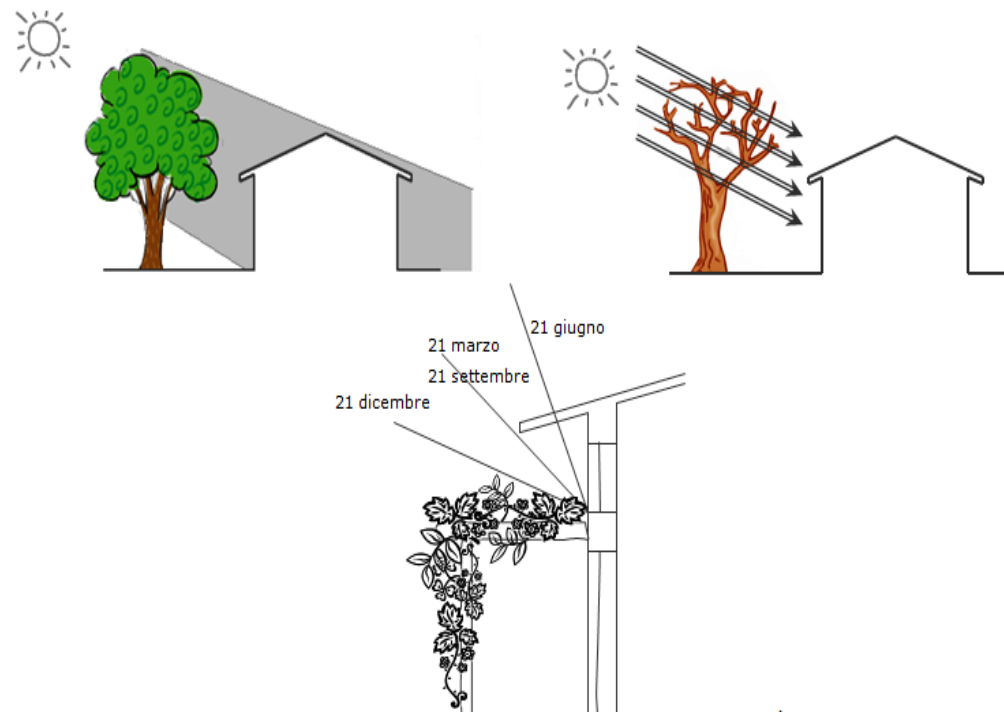


Negli ultimi anni sono state impiegate anche **lamelle di vetro di elevate dimensioni**. Questi sistemi avanzati trovano applicazione soprattutto in edifici adibiti ad uffici. In realtà, sono assimilabili a sistemi fissi di schermatura.

Dove e come intervenire: Schermature naturali

Infine, un cenno alle **schermature parasole naturali**. Si tratta di vegetazione a medio-alto fusto con **foglie caduche** e piante rampicanti su pergolati davanti alla casa.

Le loro foglie ombreggiano la facciata in estate, mentre, in inverno, gli alberi e i pergolati spogli permettono il passaggio dei raggi solari.



FINE