



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Prof. Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583478
cstival@units.it

TEMA 19

Materiali da costruzione Vetro

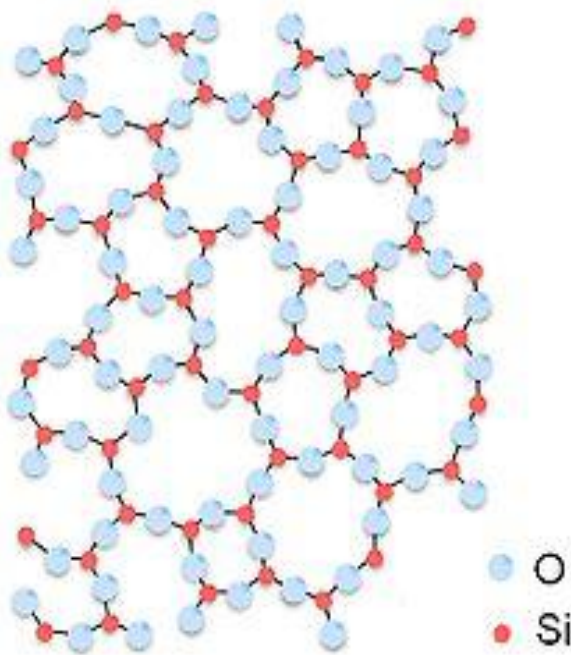
Laboratorio di **Progettazione Tecnologica dell'Architettura**
Corso di **Materiali ed Elementi Costruttivi**

Definizioni

VETRO

Il vetro è un **materiale solido amorfo**, cioè un liquido ad **elevatissima viscosità** che a **temperatura ambiente** si comporta come un **solido**, ed è privo di un punto di fusione preciso.

A certe temperature acquista **plasticità**, il che lo rende **modellabile**.



ASPETTI NEGATIVI

a livello microscopico non possiede un reticolo cristallino ordinato ma presenta una struttura disordinata e rigida, ha una rottura di tipo fragile

ASPETTI POSITIVI

trasparenza, inalterabilità chimica e biologica, bassa conducibilità elettrica

Tecnologia del vetro

VETRO IN EDILIZIA

I **vetri silico-sodico-calcico** impiegati in edilizia sono il prodotto dalla **solidificazione senza cristallizzazione** di un miscuglio omogeneo che fonde a circa 1500°C, composto principalmente dei seguenti elementi.

VETRIFICANTE

Silicio
(sabbia, la parte essenziale del vetro, al 70%-72%)

FONDENTE

Soda (carbonato o solfato di sodio, per abbassare la temperatura di fusione della sabbia, al 15%)

STABILIZZANTE

Calce (sotto forma di calcare, per stabilizzare il vetro e evitarne cristallizzazione e alterazione, al 10%)

AFFINANTI

permettono alla massa disomogenea di vetro fuso di trasformarsi in un fluido chiaro, trasparente e omogeneo

OSSIDI

allumina e magnesio migliorano le proprietà fisiche del vetro (la resistenza agli agenti atmosferici, o la colorazione)

Tecnologia del vetro

VETRO IN EDILIZIA

19

I **costi ambientali** della produzione del vetro sono significativi: la produzione di **1 kg** di vetro float richiede circa **13 MJ di energia**, con conseguente **1 kg** di **CO₂** emesso.

I valori includono l'energia necessaria a **estrarre**, **processare** e **trasportare** la **materia prima** in fabbrica, **fondere**, **formare**, **tagliare** ed **immagazzinare** il **vetro piano**.

Il rottame di vetro, ossia lo scarto e lo sfrido del processo produttivo, viene riutilizzato come materia prima:

- sostituisce materie prime vergini;
- fonde a temperature inferiori delle materie prime vergini
- non emette CO₂;
- l'utilizzo di un 10% di rottame consente un risparmio del 3% di combustibile fossile.

Tecnologia del vetro

PRODUZIONE DEL VETRO

La produzione che sfrutta il **vetro riciclato** rende il processo più **sostenibile**.

RISPARMIO ENERGETICO

l'impiego del 10% di rottame pronto al forno come MPS (Materia Prima Secondaria) è pari al 2,5% dei consumi energetici totali necessari per la trasformazione chimica e la fusione del vetro

RIDUZIONE EMISSIONI CO₂

l'uso di rottame *pronto al forno* come MPS in sostituzione delle materie prime vergini consente anche una notevole riduzione di emissioni di CO₂, derivante sia dal minor uso del combustibile, non più necessario per le trasformazioni chimiche, sia dalla mancata decomposizione della parte delle materie prime costituite dai carbonati

RIDUZIONE USO MATERIE VERGINI

l'uso del vetro riciclato permette una riduzione sostanziale del consumo di risorse naturali e minor attività estrattiva, dal momento che per produrre 100 kg di vetro sono necessari circa 117 kg di materie prime vergini, sostituibili con solo 100 kg di rottame

Caratteristiche fisiche e meccaniche del vetro

PROPRIETÀ DEL VETRO

Il vetro è **trasparente**, duro, presenta una superficie **liscia** ed è caratterizzato da una **rottura** di tipo **fragile**.

Proprietà caratteristiche:

- Resistenza a compressione 1 N mm^{-2} ;
- Resistenza a flessione 40-200 MPa;
- Modulo di elasticità tangenziale G 38-99 GPa;
- Densità 2500 kg m^{-3} ;
- Durezza Mohs 6 (superficiale);
- Conducibilità termica 1 W (m K)^{-1} .

Materiale	Peso specifico [kg dm^{-3}]	Densità [kg m^{-3}]	Coefficiente di dilatazione lineare [$10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$]
Vetro	2,6	2400-2700	9
Legno	0,47	450-700	4
Alluminio	2,7	2600-2750	23
Acciaio	7,6	7680	12

Tecnologia del vetro

PROPRIETÀ DEL VETRO

Ci sono inoltre ulteriori proprietà del materiale che influiscono sulla prestazione energetica di un edificio.

FATTORE DI
TRASMISSIONE
LUMINOSA t_L

è il rapporto tra il flusso luminoso trasmesso
e il flusso luminoso incidente sulla superficie esterna del vetro

FATTORE
SOLARE g

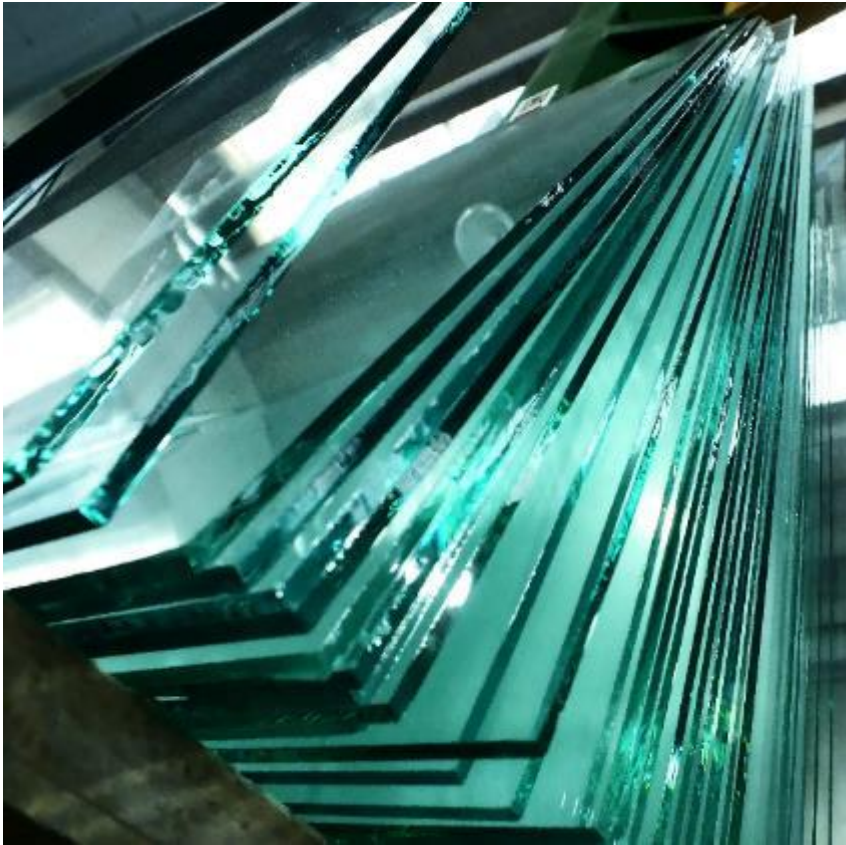
rapporto tra energia solare trasmessa nell'ambiente interno
e l'energia solare incidente sulla superficie esterna della vetrata
Questa energia è, a sua volta, costituita dalla somma dell'energia solare
introdotta nell'ambiente interno per trasmissione diretta
e dell'energia ceduta al vetro all'ambiente interno
in seguito al suo riscaldamento per assorbimento energetico

TRASMITTANZA
TERMICA U_G

indica la potenza termica dispersa dal sistema di vetrate
per ogni unità di superficie
e per ogni grado di differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno

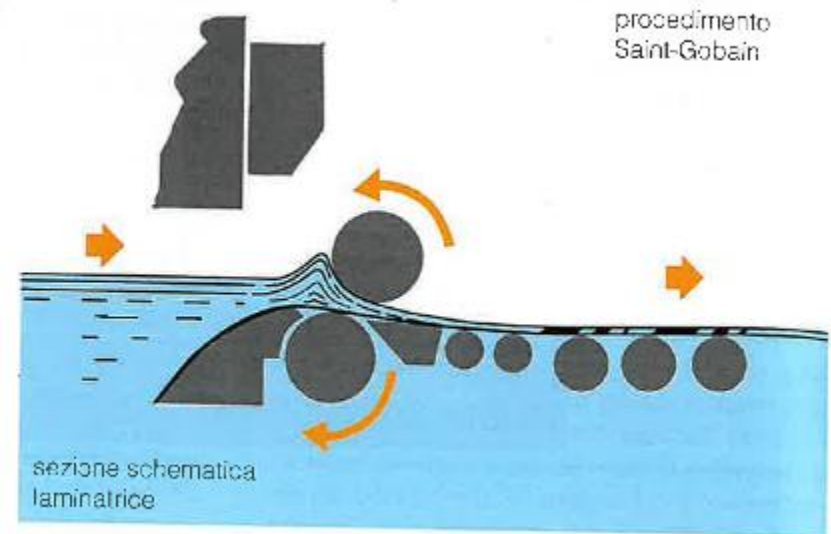
Tecniche di produzione delle lastre

COLATA

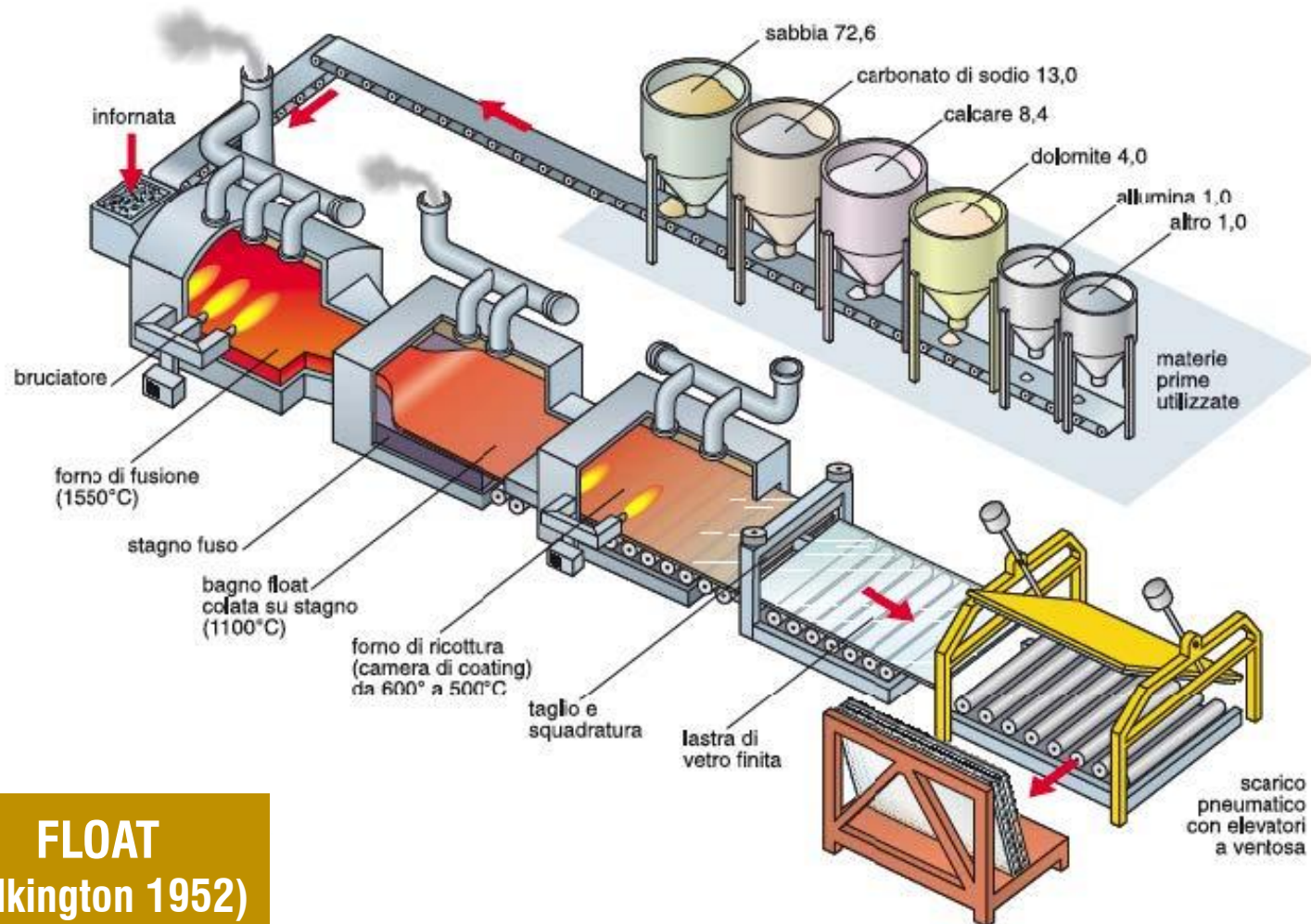


Porta a **lastre regolari** di **grandi dimensioni** e spessore relativamente sottile, prive di difetti macroscopici, robuste, ottenute mediante **distribuzione uniforme** di **vetro fuso** su una **tavola di metallo**, spianatura con rullo e ricottura prima della molatura e lucidatura.

Con l'introduzione del forno a gas Siemens le fasi di miscela e di fusione vengono unificate, e le fasi di colata e ricottura aggregate.



Tecniche di produzione delle lastre



FLOAT
(Pilkington 1952)

Tecniche di produzione delle lastre

FLOAT

La prima produzione comprende tre fasi principali:

- la **fusione**, a temperature vicine ai 1550 °C;
- il processo di **omogeneizzazione** del vetro fuso, che comprende l'**affinaggio** che elimina le bolle gassose;
- il **condizionamento termico**, in cui il vetro, in condizioni di bassa viscosità, viene raffreddato fino a raggiungere una maggiore viscosità corrispondente alle esigenze del processo di formazione.

Successivamente il vetro allo **stato pastoso** viene versato su un **bagno di stagno fuso** a circa 1.000°C, su cui galleggia formando un **nastro di spessore naturale** compreso tra **4 e 6 mm**.

All'uscita, il nastro di vetro passa attraverso un **tunnel di raffreddamento**. La temperatura del vetro si abbassa in maniera controllata da 620°C a **250°C**. Segue poi un **raffreddamento** lento all'aria per eliminare le tensioni interne al vetro che potrebbero causarne la rottura al momento in cui il nastro di vetro raffreddato viene **tagliato** in lastre di 6.000 x 3.210 mm².

Classificazione dei prodotti

PRODOTTI DI BASE

Vetri comuni trasparenti

Vetri profilati a U
(piegati al bordo)

Vetri colati laminati

Vetri retinati

PRODOTTI TRASFORMATI

Vetri temprati

Vetri stratificati

Vetri resistenti al fuoco

PRODOTTI SPECIALI

Vetri uniti al perimetro
Vetrocamera

Vetri basso-emissivi

Vetri a controllo solare

Vetro per serramenti

VETRI UNITI AL PERIMETRO



Sono costituiti da **due o tre lastre** di vetro separate da opportune **intercapedini**, a formare una **camera**.

Le lastre possono essere **vetro monolitico** o vetro **stratificato**, costituito da due lastre incollate con una speciale pellicola che ne aumenta la resistenza

Nell'intercapedine, al posto dell'aria è possibile inserire **gas nobili** (più pesanti dell'aria) come argon o kripton.

La struttura dei vetri viene solitamente indicata con 3 numeri, che indicano gli spessori dei vetri e dell'intercapedine; ad esempio, vetrocamera 6+12+4.

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.

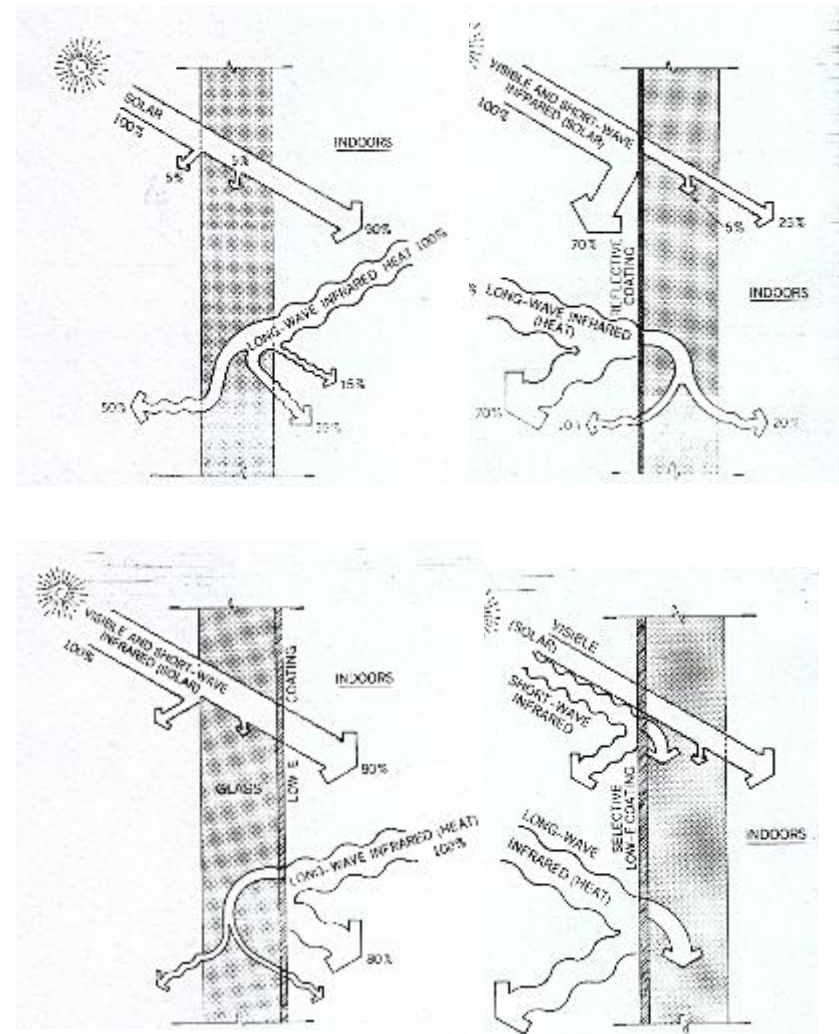
Riduzione scambi termici radiativi

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

Vetro per serramenti

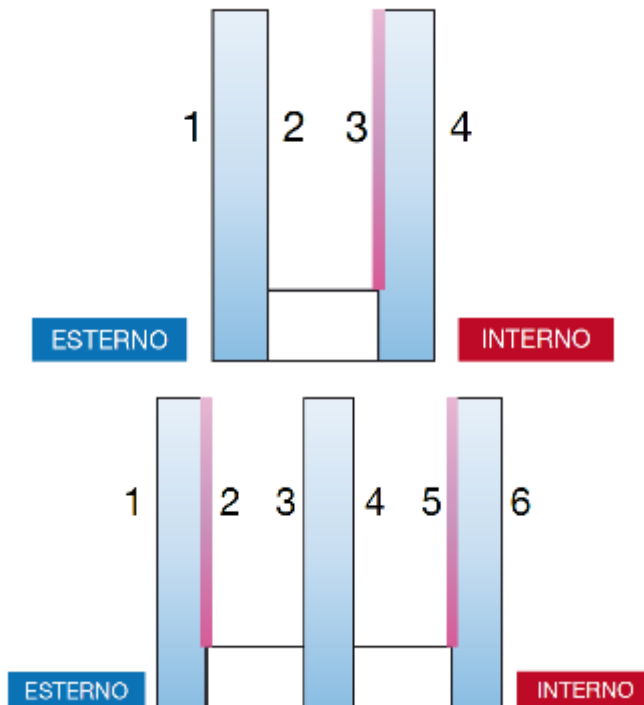
In base alle proprietà selettive del deposito, si distinguono:

- 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.



Classificazione dei prodotti

VETRI BASSO-EMISSIONI



Sono vetri con **funzione isolante** costituiti da due o più lastre di vetro trattate, distanziate da uno o più **profili distanziatori**.

Riflettono verso l'interno parte del calore emesso come radiazione termica dai corpi contenuti nei locali abitati, **riducendo** notevolmente la **dispersione termica**.

Il vetro di partenza è un vetro float, cui si aggiungono 4 diversi tipi di strati:

- strato di adesione;
- strato d'argento;
- strato selettivo;
- strato di riempimento.

L'incremento delle prestazioni è reso possibile proprio dall'**intercapedine** che riduce la trasmittanza della vetrata: in essa sono presenti, per **saturatione**, aria secca o **gas nobili**, con una conducibilità termica estremamente inferiore a quella della vetrata.

Classificazione dei prodotti

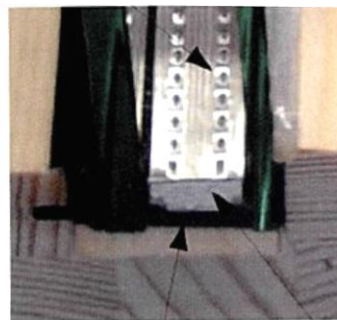
Il **distanziatore** è l'elemento volto a mantenere la **distanza** tra le **lastre di vetro**, realizzato usualmente in **alluminio**; attraverso l'applicazione di un **sigillante butilico** ne è garantita la tenuta all'aria.

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 PP** o in materiale organico rinforzato con fibra di vetro: in questo modo è possibile ridurre la trasmittanza lineica del distanziatore, permettendo una riduzione massima del 10% della dispersione di calore complessiva del serramento.

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

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

distanziatore

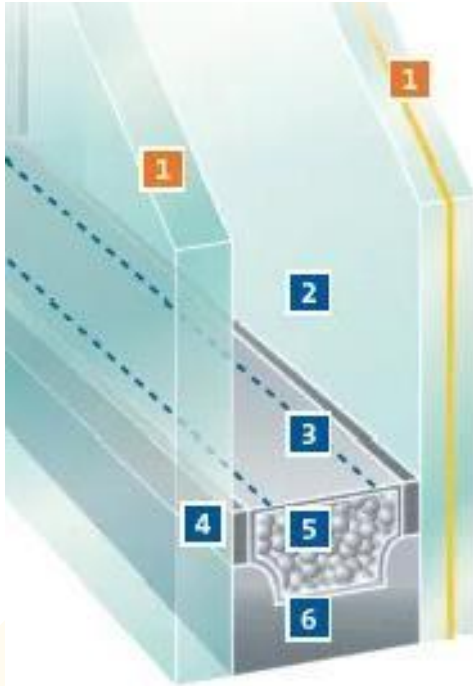


sigillante

disidratante



Classificazione dei prodotti



1. Lastra di vetro o vetro stratificato
2. Intercapedine di gas nobile
3. Distanziatore con profilo metallico
4. Sigillante butilico
5. Sali disidratanti
6. Sigillante in silicone o PUR



Canalina termica in PVC o PP

Classificazione dei prodotti

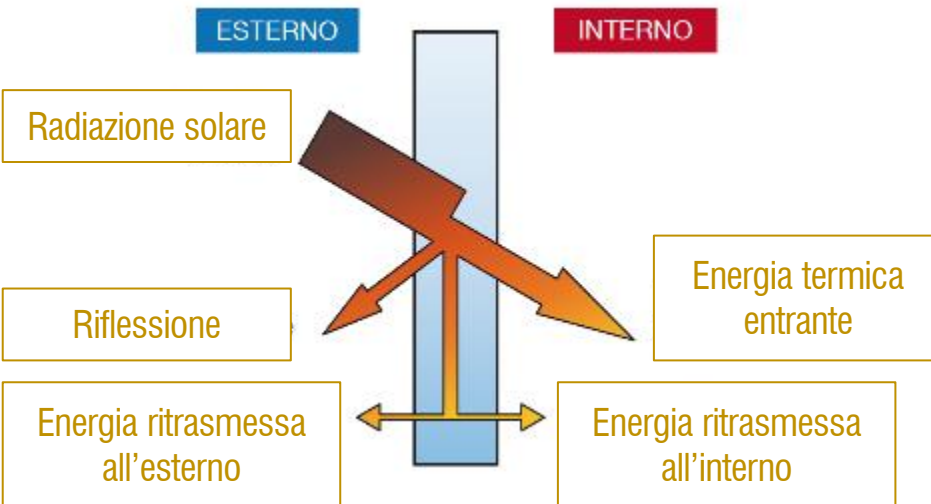
VETRI A CONTROLLO SOLARE

Consentono il passaggio della luce solare attraverso un'apertura, operando al contempo la **riflessione all'esterno** di gran parte del **calore solare**, **riducendo** il **flusso termico** in ingresso.

Riducono il riflesso abbagliante causato dalla luce solare diretta.

Hanno la superficie rivestita da un coating di metalli trasparenti, un **deposito specchiante** che agisce essenzialmente alle lunghezze d'onda dell'**ultravioletto** e, in parte, del visibile.

La prestazione dipende dallo spessore del deposito, influenzando anche su trasparenza ed **aspetto cromatico** della lastra.



Vetro per serramenti

19

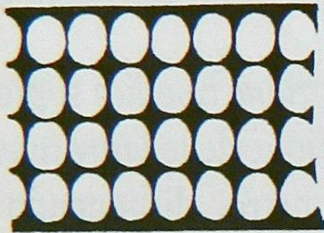


Concessionaria Mercedes, Roma

Trattamenti e lavorazioni sul vetro

TEMPRA

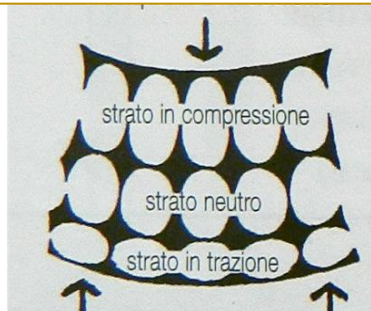
Vetro ricotto
non sollecitato



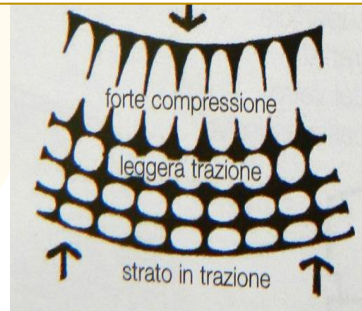
Vetro temprato
non sollecitato



Vetro ricotto
sollecitato a flessione



Vetro temprato
sollecitato a flessione



Il vetro viene sottoposto ad un **riscaldamento** seguito da **brusco raffreddamento** che produce una **precompressione** dovuta alla contrazione degli strati esterni e alla compressione di quelli interni.

La resistenza a flessione è dell'ordine dei 120-200 Mpa.

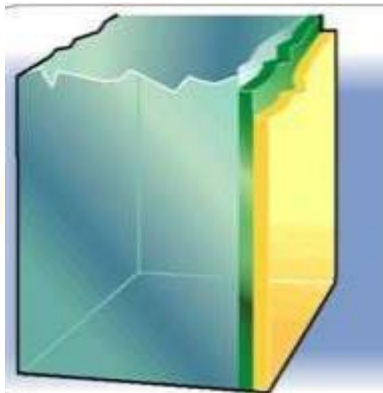
Tollera grandi differenze di temperatura senza rompersi (circa 200°C).

Il vetro ricotto può andare a rottura già con differenze di temperatura prossime a 40°C.

Trattamenti e lavorazioni sul vetro

ALTRI TRATTAMENTI

COATING ON-LINE



COATING OFF-LINE

Lo scopo del **rivestimento a caldo (coating)** è quello di controllare e **migliorare** le **prestazioni ottico - energetiche** delle vetrate

Procedimento: applicazione di un **ossido metallico** sulla facciata superiore della lastra ancora bollente

VETRO PIROLITICO

Il processo di pirolisi viene realizzato ad elevata temperatura, durante la formatura del vetro float, ed introduce legami forti tra deposito e vetro. La resistenza superficiale del rivestimento è molto elevata, pari a quella del vetro. Questi coating resistono anche a trattamenti termici successivi, quali tempra o curvatura. Si possono realizzare lastre con emissività fino al 13% (contro il 90% del normale vetro float).

VETRO MAGNETRONICO

Si applicano più strati di ossidi metallici. I vetri così ottenuti possono essere soggetti a deteriorabilità (utilizzo esclusivo entro un vetrocamera). L'ossidazione degli strati metallici applicati può essere completata con successivi trattamenti termici (coating temprabili).

Si possono realizzare lastre che riflettono e trasmettono la radiazione solare su specifiche lunghezze d'onda, con un'emissività estremamente ridotta (fino all'1%, contro il 90% del normale vetro float).

Trattamenti e lavorazioni sul vetro

ALTRI TRATTAMENTI

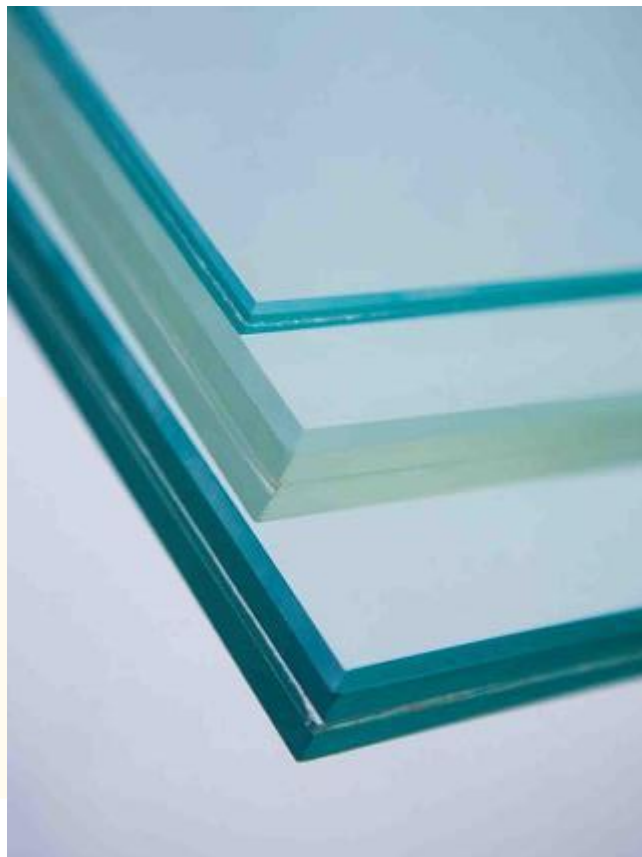
La **satinatura** è una **lavorazione chimica** che avviene con la **stesura di acidi** sulla superficie del vetro, determinando un **incremento dell'opacità superficiale** e della ruvidità.



19

Trattamenti e lavorazioni sul vetro

LAVORAZIONI SECONDARIE



L'armatura consiste nel **posizionamento** di una **rete metallica** nella **lastra appena colata**.

La **stratificazione**, invece, porta alla composizione di **due** o **più fogli di vetro**, uniti assieme con uno o più intercalari di **materia termoplastica** (PoliVinilButirrale), mediante un processo **a caldo** e **sotto pressione**. Il PVB agisce come **adesivo** e **separatore** tra le lastre di vetro, (prestazioni **meccaniche**, **termiche** ed **acustiche**).

All'interno di un ambiente climatizzato, avviene la stesura dei fogli di PVB tra le lastre di vetro, asportandone con taglio le **eccedenze**. La lastra assemblata passa quindi all'interno di un primo **forno** dove viene preriscaldata a 30°C e calandrata per favorire il processo di **deaerazione**, eliminando quasi tutta l'aria presente tra il PVB e le lastre di vetro. In un secondo forno di riscaldamento, a 60°C, si attivano le **proprietà adesive** del PVB. Sempre durante questa fase, la lastra multistrato passa sotto altre calandre, che completano la **sigillatura** ai bordi ed impediscono l'entrata di aria.

Trattamenti e lavorazioni sul vetro

VETRO AUTOPULENTE



È un vetro float su cui è stato depositato un **rivestimento** di **materiale semiconduttore** (il migliore è il biossido di titanio) in grado di assorbire l'energia solare utile a **decomporre sostanze inquinanti**, ossidandole in due componenti innocue: CO₂ (anidride carbonica) e H₂O (acqua).

Il rivestimento può essere di **colore neutro** e mantiene una trasparenza sia durante che dopo la pioggia: l'effetto idrofilo del rivestimento induce lo scorrimento dell'acqua per film sottile e non a gocce, **impedendo** così che rimangano **tracce** sulla superficie del vetro.

Non è soggetto ad usura o erosione.

Presupposti necessari per il suo funzionamento sono l'**esposizione alla radiazione solare**, per l'attivazione del particolare coating, e non essere riparato dalle precipitazioni atmosferiche.

Trattamenti e lavorazioni sul vetro

VETRI SINTETICI

POLIMETIL METACRILATO

densità $1,19 \text{ g cm}^{-3}$
lastre estruse (sigla XT)
lastre colate (sigla GS)
temperatura di transizione vetrosa:
 $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ circa

POLISTIRENE IN LASTRE

densità $1,05 \text{ g cm}^{-3}$
temperatura di transizione vetrosa:
 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ circa

