

# Materiali per l'architettura (6CFU)

prof. Alberto De Capua

Dipartimento di Architettura e Territorio – dArTe  
Corso di Studio in Architettura quinquennale – Classe LM-4



A.A. 2013 - 2014

## IL VETRO

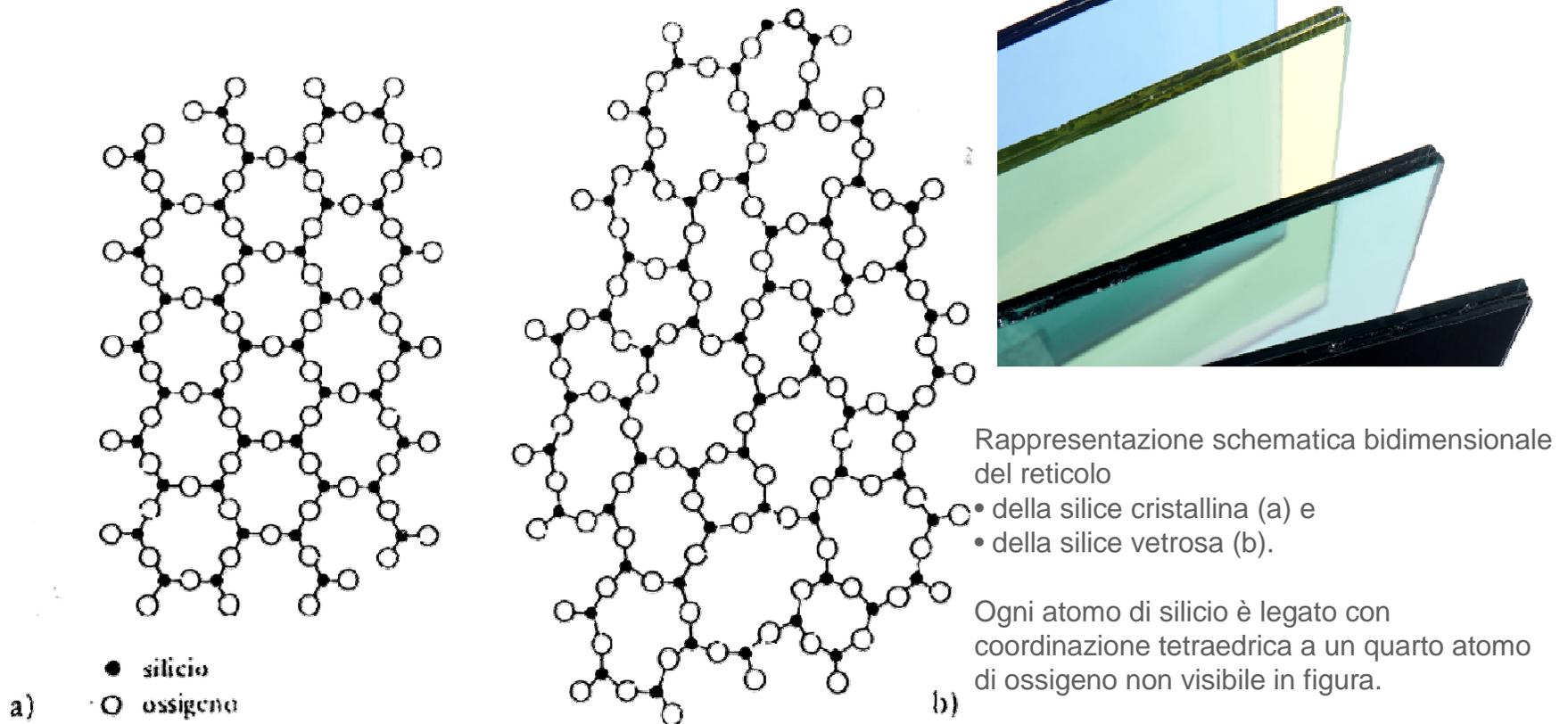
- Informazioni storiche
- Informazioni specialistiche
- Informazioni sulla produzione
- Informazioni sul progetto

*Seminario tematico  
a cura di  
dott. ric. Valeria Ciulla*

## Definizioni

Il vetro è un prodotto inorganico a struttura amorfa non cristallina formatosi per progressiva solidificazione di un liquido viscoso, ottenuto per fusione di minerali cristallini. Ha caratteristiche di rigidità e resistenza tipiche di un corpo solido pur conservando la perfetta isotropia dei liquidi.

E' costituito da un reticolo irregolare di silicio (Si) ed ossigeno (O).



## il vetro nell'età pre-romana e romana

Il vetro fu introdotto nel III millennio a.C.  
in Egitto ed in Mesopotamia come materiale per realizzare  
utensili e monili. I Fenici lo diffusero nel Mediterraneo.

Nel secolo I a.C. i Romani introdussero la tecnica della  
soffiatura.



Anfora in vetro fenicia V secolo a.C. – oggetti d'uso in vetro a Roma I secolo d. C.

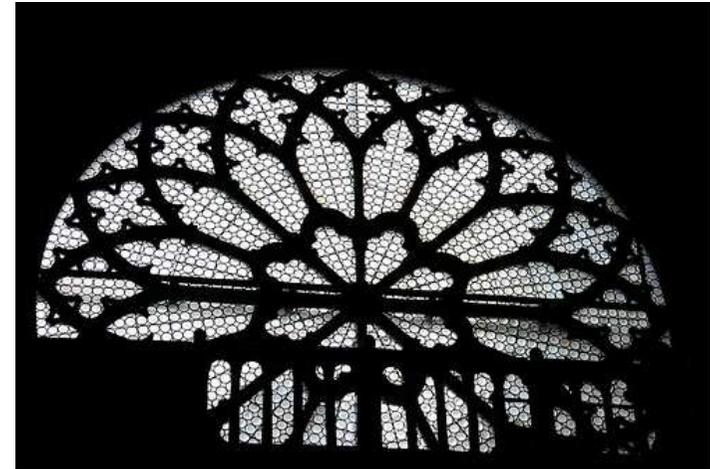


Reperti romani dalla Dalmazia, in vetro soffiato a stampo, nel Museo del vetro di Murano.

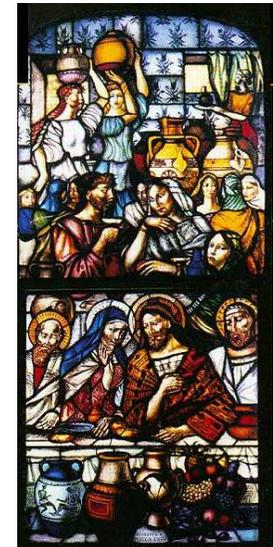
## architettura del medioevo

Il vetro venne usato come materiale per l'architettura dopo il Mille.

Nel 1300 gli sviluppi commerciali ed industriali della Repubblica di Venezia consentirono di usare svariati minerali che arricchirono la produzione, con vetri trasparenti e colorati utilizzati per le vetrate istoriate. Venivano lavorate lastre trasparenti soffiando in grandi ampolle, la produzione riguardava inoltre le tessere musive.



Interno della Basilica di San Marco, Venezia,



Esempi di vetrate istoriate

## architettura del settecento

L'uso del vetro nell'architettura del settecento è stato fortemente influenzato dalle innovazioni nella produzione.

Intorno al 1665 in Francia J.B. de Colbert concesse alla nascente "Manufacture Royale des Glaces" vantaggi economici e fiscali per la fabbricazione del vetro colato.

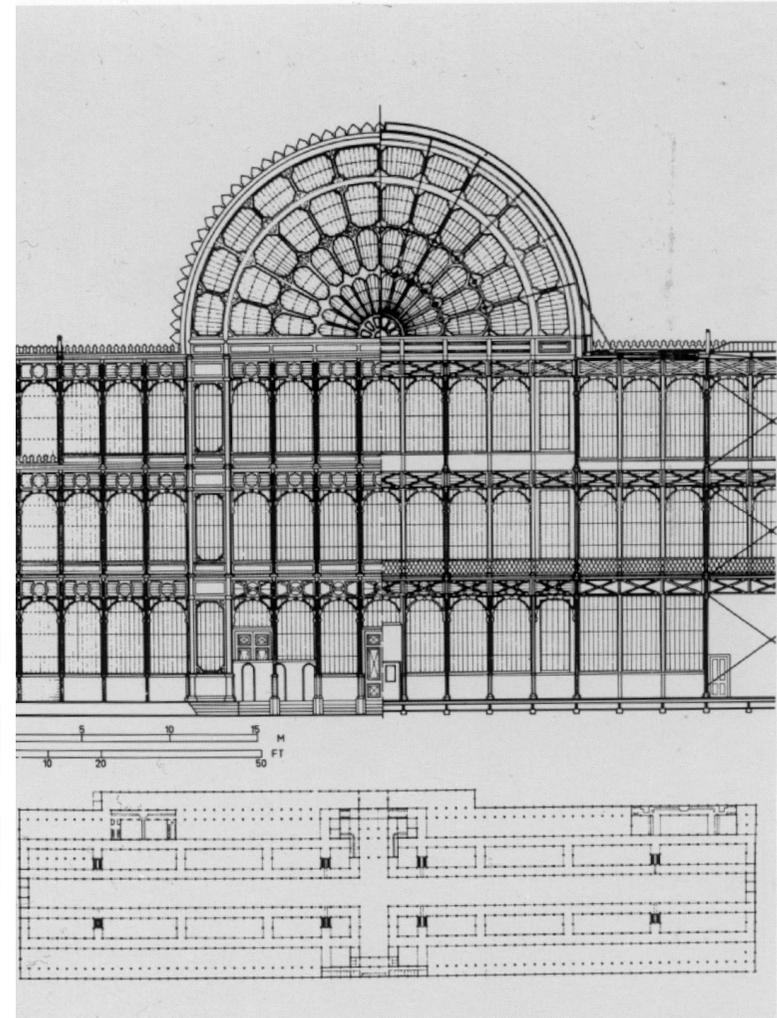
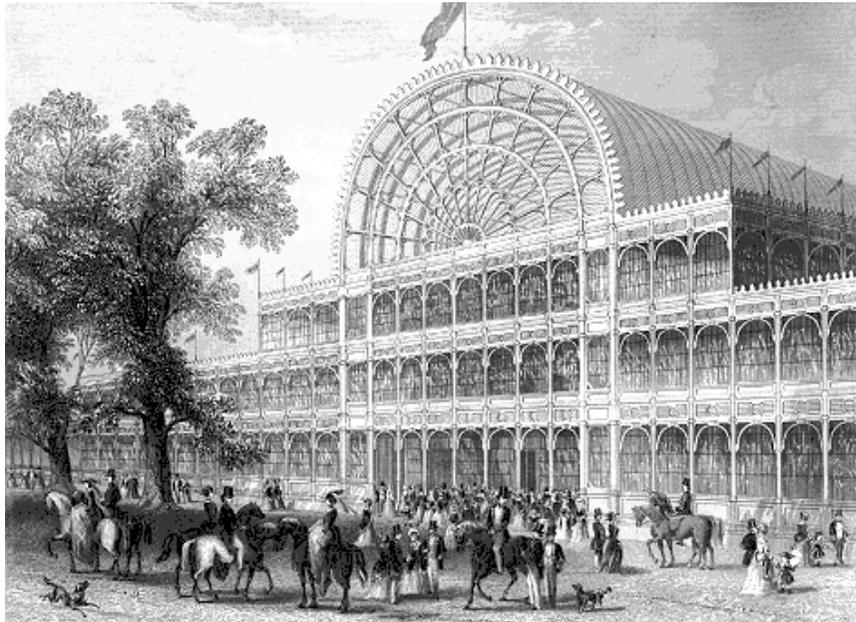
La fabbrica sorse a Saint-Gobain (Parigi), ed è qui che nel 1700 venne messo a punto il "sistema di laminazione" per la produzione in serie di grandi lastre di vetro.



Momento della colatura dell'impasto vetroso

## architettura dell'ottocento

Lo sviluppo e l'impiego del vetro nell'architettura dell'ottocento è parallelo e connesso allo sviluppo ed all'impiego della ghisa e dell'acciaio.



CRYSTAL PALACE, Joseph Paxton, Londra, 1851-1854

architettura del novecento



LA VILLETTE – Fainsilber, Rice, Ritchie, Parigi 1979

architettura del novecento



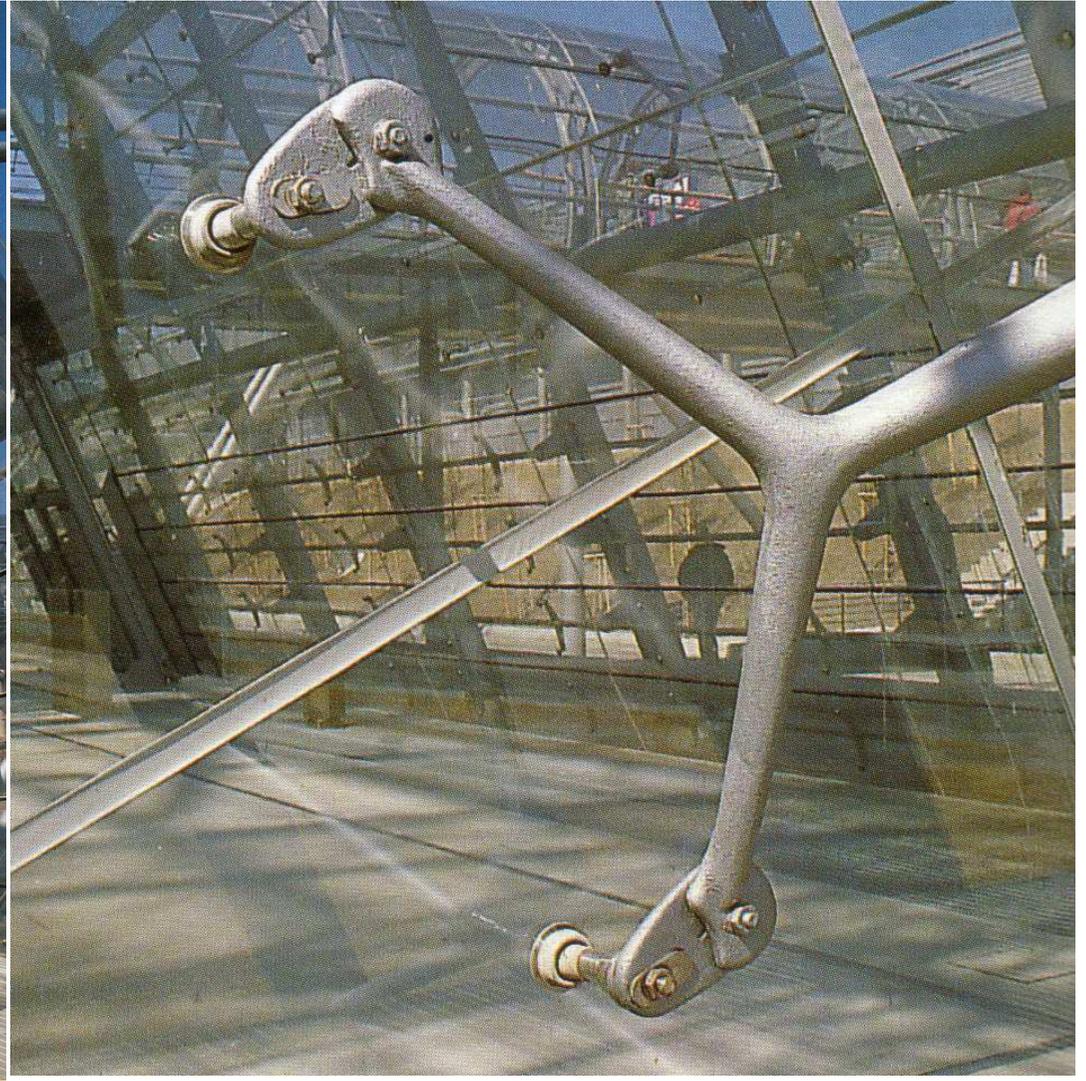
FIERA DI LIPSIA - Ian Ritchie

architettura del novecento



FIERA DI LIPSIA - Ian Ritchie

architettura del novecento



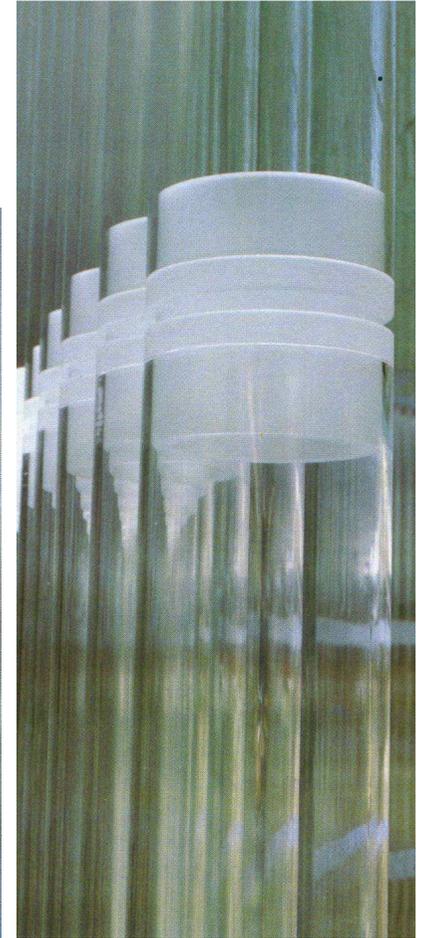
FIERA DI LIPSIA - Ian Ritchie

architettura contemporanea



WATER/GLASS HOUSE - Kengo Kuma, Atami, 1995

architettura contemporanea



Padiglione Espositivo Sui Progetti Della Città - M. Cucinella, Bologna, 2003

## Composizione

Il vetro è composto da una miscela omogenea di ossidi in proporzioni variabili, distinti in **formatori** e **modificatori** del reticolo vetroso.

- I principali **formatori** di reticolo, detti anche vetrificanti, sono la silice ( $\text{SiO}_2$ ) introdotta sottoforma di: sabbia, quarzite, farina fossile e l'anidride borica ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), che aumenta la durezza.
- I **modificatori** si distinguono in fondenti (ossidi alcalini, principalmente di sodio e potassio) e stabilizzanti (ossidi alcalino-terrosi di calcio, magnesio, bario, ..).

- affinanti, ossidi di arsenico ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ) e di antimonio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) associati a nitrati vengono aggiunti nel fuso per eliminare le numerose bolle gassose disperse nel fluido viscoso ed omogenizzarlo;

- magnesio, conferisce resistenza agli sbalzi termici;
- ossido di zinco, aumenta la resistenza meccanica e chimica;
- ossido di piombo, aumenta brillantezza e densità;
- decoloranti (biossido di manganese) per eliminare i colori non voluti e dovuti dalla presenza di impurità nel fluido come il ferro ed il cromo;
- coloranti (ossidi, sali metallici) per la produzione di vetri colorati;
- rottami di vetro (30%).



## Caratteristiche

A *temperatura ambiente* il vetro è:

- durissimo (ha durezza 5-6 nella scala Mohs) e fragile;
- non è poroso;
- di forte caratteristica lucentezza;
- rifrange in modo notevole i raggi luminosi;
- dilata solo leggermente al calore, di cui è un cattivo conduttore;
- non si scioglie nell'acqua e negli acidi, anche se concentrati, si scioglie invece nelle soluzioni basiche;
- non brucia, non si lascia calcinare;

Sotto l'azione di *forte calore* passa attraverso vari stati di viscosità all'incandescenza bianca è fluido, alla rossa è molle e pastoso, è in quest'ultimo stato di viscosità che il vetro può essere modellato.

## Caratteristiche fisiche

- **DENSITÀ - MASSA VOLUMICA.** Il vetro ha densità pari a 2,5, che corrisponde, nel caso dei vetri piani, ad una massa di 2,5 kg per ogni m<sup>2</sup> e per ogni mm di spessore.
- **COEFFICIENTE di CONducIBILITA' o CONDUTTIVITA' TERMICA.** La conduttività termica del vetro è scarsa, tanto che il riscaldamento o il raffreddamento parziale di una vetrata determina in questa delle sollecitazioni che possono provocare rotture cosiddette termiche. L'esempio più comune di rischio di rottura termica è quello rappresentato dai bordi coperti di un vetro ad elevato assorbimento energetico, che in presenza di forte irraggiamento solare si riscaldano più lentamente della superficie esposta. Nei casi in cui le condizioni di utilizzo o di posa in opera rischiano di determinare in un vetro considerevoli differenze di temperatura, sarà necessario adottare delle precauzioni in fase di posa o di lavorazione. Con un trattamento termico complementare, come la tempra, si consente al vetro di sopportare delle differenze di temperatura sino ai 200°C.
- **COEFFICIENTE di DILATAZIONE LINEARE.** Misura l'allungamento dell'unità di lunghezza per una variazione di temperatura pari a 1°C, si riferisce generalmente ad un intervallo di temperature compreso tra 20 e 300°C. Il coefficiente di dilatazione lineare del vetro è pari a  $9 \times 10^{-6}$ .

## Caratteristiche meccaniche

- **RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE.** Il vetro offre un'elevatissima resistenza alla compressione (1.000 N/mm<sup>2</sup> = 1.000 MPa). Ciò vuol dire che, per rompere un cubo di vetro di 1 cm di lato, occorre un carico dell'ordine di 10 tonnellate.
- **RESISTENZA ALLA FLESSIONE** Un vetro sollecitato a flessione presenta una faccia in compressione ed una in trazione. Il valore di resistenza alla rottura di un vetro flesso è dell'ordine di: 40 N/mm<sup>2</sup> per vetri levigati ricotti, 120 a 200 N/mm<sup>2</sup> per vetri temprati (variabile secondo lo spessore, la molatura dei bordi e il tipo lavorazione). Il valore elevato di resistenza del vetro temprato è dovuto al fatto che il processo di tempra ha l'effetto di mettere le facce della lastra trattata in condizioni di forte compressione.

## Caratteristiche tecniche e tecnologiche

- **DUREZZA.** Riguarda la resistenza alla rigatura ed alla abrasione.
- **ELASTICITÀ** Il vetro è un materiale estremamente elastico, che non presenta mai deformazioni permanenti, presenta tuttavia caratteristiche di fragilità ovvero, quando è sottoposto ad un carico crescente a flessione, si rompe senza alcun segno di preavviso.
- **INDICE di RIFRAZIONE e di DISPERSIONE.** Definiscono il comportamento del vetro sotto l'effetto della luce

## Classificazione

Secondo la sua composizione e la sua storia termica, il vetro può essere:

- trasparente,
- translucido o opaco,
- incolore o colorato.

Esistono numerosi tipi di vetro che possono essere classificati in diversi modi in base:

- alla tecnica di lavorazione (soffiato, pressato, stampato...);
- all'impiego;
- all'aspetto (colorato, incolore, trasparente, opaco,...);
- a particolari proprietà (neutro, biocompatibile, atermico...);
- alla resistenza chimica (inerte, durevole, poco durevole, solubile...);
- alla composizione chimica (quarzo, silico-sodico-calcico, borosilicato, al piombo ...).
- allo spessore ( semplice, semidoppio, doppio, mezzo cristallo, cristallo);

## Ciclo produttivo

- Riscaldamento, passaggio graduale 1300-1500°C ;
- Fusione, processo a temperatura costante 1500°C;

Il vetro si ottiene per fusione in un forno ad alta temperatura di una miscela omogenea di minerali (miscela vetrificabile), detti materie prime, mescolati in opportune proporzioni in peso, e di rottame di vetro.

- Affinaggio, raffreddamento graduale 1200°C;
- Foggiatura, soffiaggio, pressatura, stiratura, laminazione.

## Processo di produzione

Una delle tecniche di produzione, attualmente utilizzata per la fabbricazione di vetro piano, è stata messa a punto negli anni sessanta, consiste nel far galleggiare il vetro fuso di provenienza dal forno fusorio su di un bagno di stagno liquido. Così realizzato, il vetro non ha più bisogno di levigatura superficiale e di ulteriore ricottura:

- **FUSIONE DELLE MATERIE PRIME** La miscela vetrificabile viene convogliata, mediante nastri trasportatori nel forno fusorio all'interno del quale la temperatura raggiunge i 1550 °C,
- **FLOAT** A 1100°C il vetro fuso cola dal forno su di un bagno di stagno fuso. Il vetro galleggia sulla superficie liquida e piana e viene tirato sino a divenire un nastro a facce parallele.
- **RAFFREDDAMENTO** Deposito a 600°C sui rulli di un tunnel di raffreddamento, lungo 100 metri, il nastro di vetro si raffredda sotto controllo fino alla temperatura ambiente. Il nastro di vetro acquista intorno ai 500°C le proprietà di un solido perfettamente elastico.
- **SQUADRATURA** Raffreddato all'aria libera, il nastro di vetro è controllato e, successivamente, tagliato in lastre dalla dimensione massima di 6x3,21mt, con taglio dei bordi longitudinali. Gli elementi sono successivamente posizionati verticalmente su dei cavalletti per mezzo di elevatori a ventosa.
- **LAMINAZIONE** All'uscita dal forno, il vetro passa tra due rulli metallici che gli conferiscono lo spessore ed il disegno desiderati. In tal modo sono prodotti i vetri stampati, utilizzati nell'architettura di interni, nell'arredamento, nella decorazione.

## Tecniche di produzione

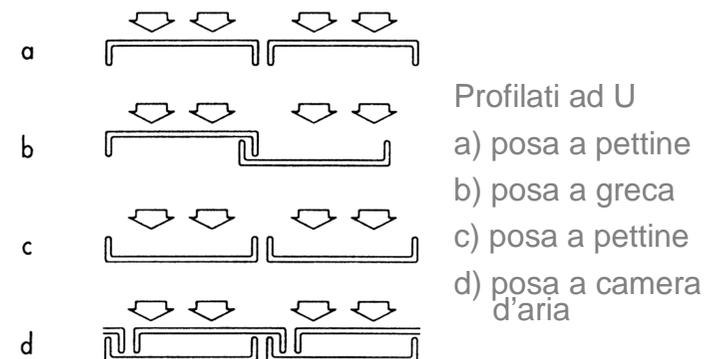
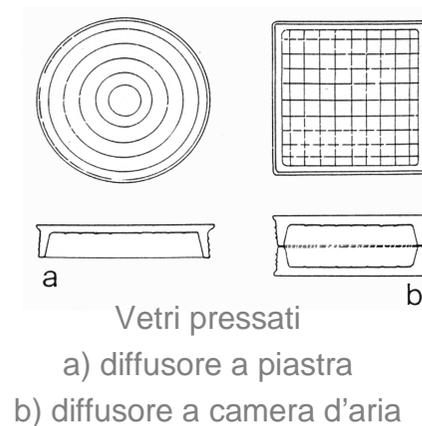
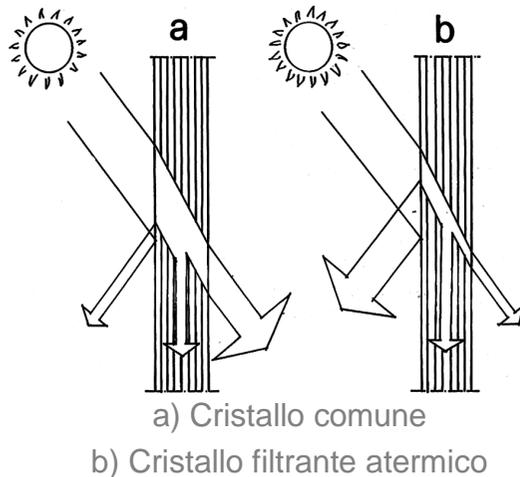
Il vetro può subire delle trasformazioni che gli conferiscono le prestazioni termiche, estetiche, meccaniche, elettriche, ecc. volute, tra queste :

- la modifica della composizione, per la produzione di
  - vetri colorati,
  - vetri speciali,
  - vetroceramici;
- l'associazione con altri materiali, che permette la realizzazione di prodotti compositi quali:
  - vetro e polivinilbutirrale (sicurezza),
  - vetro e resina (isolamento acustico),
  - i vetri e gel (antifuoco),
  - vetro e vetro con particolari funzioni estetiche (decorazione);
- la trasformazione della superficie, attraverso trattamenti come la molatura o la satinatura dei vetri utilizzati nell'architettura di interni e la decorazione;
- il deposito superficiale di strati sottili per la fabbricazione di
  - specchi,
  - vetri smaltati,
  - vetri a controllo solare o di vetri che permettono il risparmio energetico;
- l'indurimento meccanico attraverso la tempra termica o chimica per la produzione di vetri di sicurezza.

## Tipologia dei vetri

Le varie tipologie fanno riferimento alle caratteristiche dimensionali e agli elementi costituenti dei prodotti:

- **Vetri di sicurezza** (armati, temperati, stratificati);
- **Vetri filtranti atermici**;
- **Vetri laminati in lastre**
  - con interposta camera d'aria disidratata (vetro-camera),
  - sovrapposte con interposta fibra vetrosa;
- **Vetri profilati ad U**;
- **Vetri pressati** con stampi (diffusori)
- **Vetri filati** (seta di vetro, lana o fibra di vetro)
- **Vetri espansi**
- **Vetro-ceramica**



## Tipologia dei vetri

- **Vetro temprato.** La tecnica della tempra consiste in un raffreddamento assai rapido del vetro mediante un soffio d'aria - in pochi secondi il vetro passa da 600° a 300° - che aumenta la resistenza del vetro. E' utilizzato nelle applicazioni del vetro speciali in cui è richiesto un particolare grado di sicurezza, sotto un colpo violento il vetro temprato, se si rompe, si frantuma in una moltitudine di piccoli frammenti di vetro non taglienti.
- **Vetro stratificato,** o accoppiato è dato dall'unione, attraverso sistema a pressione, di due o più lastre tra le quali viene posizionato un foglio di polivinilbutirale (PVB). Sono essenzialmente vetri: antinfortuno, antivandalismo, anti-crimine ed anti-proiettile.
- **Vetro autopulente.** E' un normale vetro con un rivestimento speciale sul lato esterno che assicura una duplice azione, se esposto alla luce solare, il rivestimento reagisce chimicamente scomponendo lo sporco organico e consentendo all'acqua piovana di 'scorrere' sul vetro rimuovendo lo sporco disciolto.

## Tipologia dei vetri

- **Vetri a controllo solare** Sono così denominate le lastre di vetro per l'edilizia che presentano una facciata opportunamente trattata (in genere depositi di metalli e/o ossidi di metalli) per ottenere da essa una riflessione selettiva predeterminata dell'irraggiamento solare.
- **Vetri basso emissivi** Vengono impiegati per contenere al minimo le dispersioni termiche dovute alla differenza di temperatura fra interno ed esterno (notevole in inverno). Ricorrono alle caratteristiche del Fattore Solare e della Trasmissione Luminosa, le quali limitano la fuoriuscita del calore e favoriscono l'ingresso di luce e del "calore solare" con conseguente vantaggio sul bilancio energetico/economico.
- **Vetri selettivi** Sono costituiti da una lastra di vetro ricotto chiaro resa riflettente e basso emissiva mediante deposito di più strati di ossidi metallici e metalli ottenuto per polverizzazione catodica sotto vuoto spinto in campo elettromagnetico di elevate densità. Sono vetri che servono a ottimizzare la climatizzazione degli edifici.

## Elementi tecnici

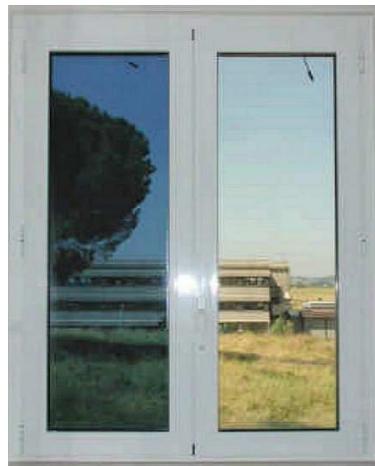
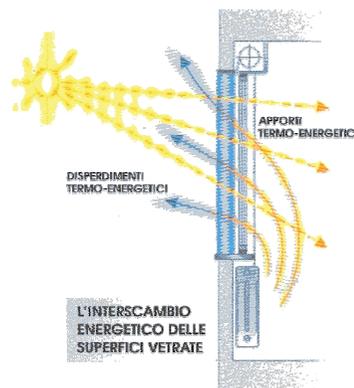
### • CVT e COT- Infissi

L'involucro edilizio si configura come superficie di controllo dei flussi di energia e di massa scambiati tra il sistema ambientale interno e quello esterno.

La componente trasparente dell'involucro ha un'incidenza sfavorevole sul rendimento energetico globale dell'edificio. L'innovazione tecnologica consente di trasformare tale incidenza da elemento debole a punto di forza conferendole caratteristiche prestazionali superiori (smart window) rispetto alla componente di involucro opaca.

Ad esempio, i **Materiali Trasparenti Cromogenici** inseriti tra i vetri o applicati su di essi (coating), consentono un controllo programmato e continuo dei flussi di luce e di energia solare, possono essere:

- elettricamente attivati: cristalli liquidi, elettrocromici,
- non elettricamente attivati: termocromici, fotocromici.



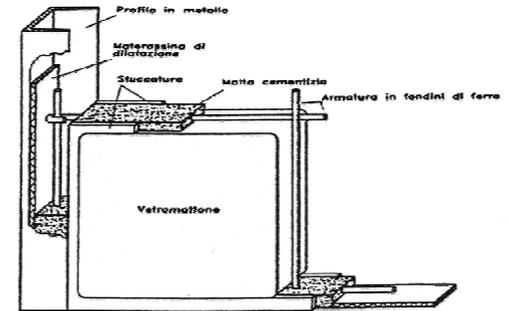
## Elementi tecnici

Specifici elementi in vetro hanno caratteristiche strutturali:

- **Vetro mattone**, costituito da due elementi in vetro ricotto saldati a fuoco, con camera d'aria interna;
- **Curtain wall** pannelli di tamponamento supportati da montanti e traversi in acciaio o alluminio;
- **Vetro strutturale**, diaframma verticale esterno composto da una struttura in acciaio e da pannelli in vetro.
- **Vetro strutturale - R.F.R** - prevedibilità prestazioni del sistema, gerarchia strutturale

Gli elementi componenti sono:

- Sistema di fissaggio della vetrata
- Sistema di sospensione della vetrata
- Controventi
- Ossatura tubolare della struttura

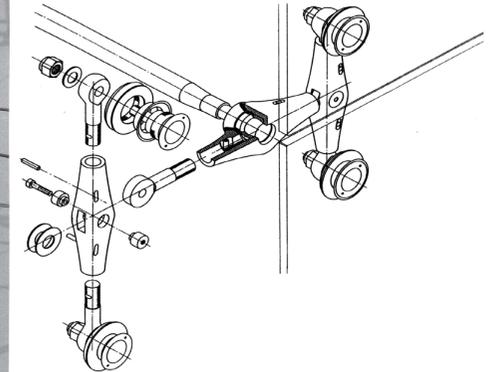
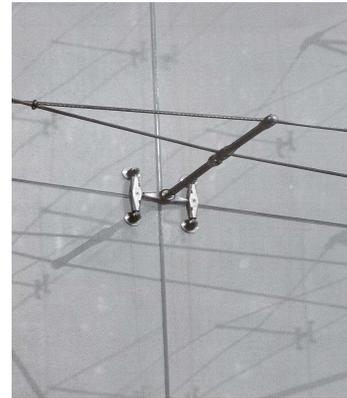


Vetromattone – Posa in opera con ferri di mm 6 ad aderenza migliorata

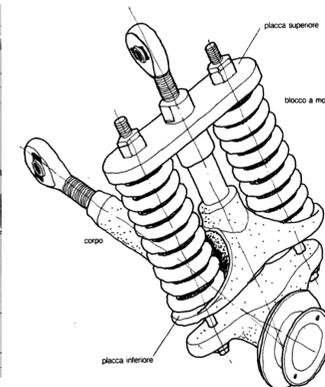
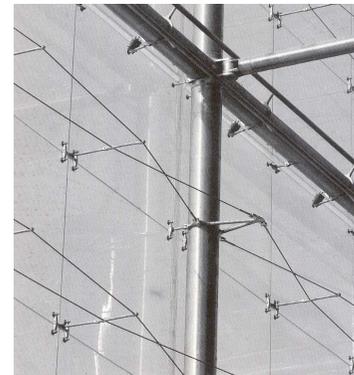


## tipologia di connessioni

- **Sistema di fissaggio della vetrata.** Il fissaggio del vetro è realizzato mediante bulloni articolati che consentono un fissaggio complanare alla vetrata.

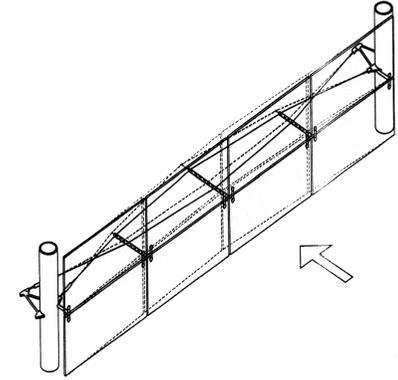


- **Sistema di sospensione della vetrata.** Il sistema di sospensione deve sostenere il peso stesso del vetro (carico verticale) e resistere ai carichi dovuti al vento cioè quelli perpendicolari al piano vetrato. Ogni attacco di sospensione prevede un sistema di molle, atto a garantire una uguale distribuzione del peso del pannello.

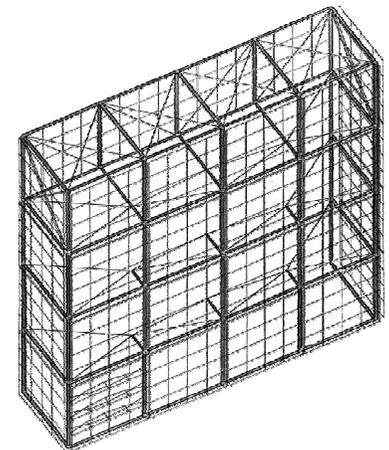


## tipologia di connessioni

- **Cavi di controvento.** Costituiscono l'unico supporto orizzontale del vetro. Il sistema è costituito da due cavi di 19 fili metallici ciascuno, del diametro di 12,7 mm, completati da tenditori e terminali. I due cavi formano un poligono e sono tesi frontalmente con curva parabolica. Essi sono pretesi per sostenere il carico di 2 tonnellate per cavo.

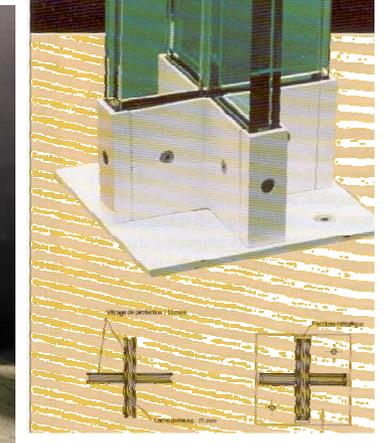


- **Ossatura tubolare della struttura.** E' costituita da un quadrato formato da tubi in acciaio saldati. Il quadrato di 32 x 32 m è suddiviso in pannelli di 8 x 8 m. Il diametro esterno dei tubi è di 300 mm. Lo spessore interno varia da 6 a 35 mm.



## Elementi tecnici

- **TRAVI** e **PILASTRI** realizzati interamente in vetro rappresentano l'innovazione ultima della trasparenza strutturale.



## Elementi tecnici

- **SCALE E PARAPETTI** A condizione che risponda alle esigenze di sicurezza (stratificato), il vetro può essere utilizzato per scale e parapetti.

- **RIVESTIMENTO MURALE** Il vetro argentato e quello laccato possono essere utilizzati sotto forma di rivestimento completo o di pannelli decorativi.

- **PARETI VETRATE**

- **PORTE**

- **SANITARI**

