

IL VETRO



- Composizione
- Antiche tecniche di produzione del vetro
- Tecniche attuali di lavorazione del vetro
- Proprietà fisiche meccaniche e tecnologiche del vetro
- Prodotti vetrari speciali
- Prodotti vetrari trasformati
- Impieghi del vetro
- Il vetro strutturale
- Il riciclo del vetro

Composizione del vetro

Il vetro è il prodotto della solidificazione di un miscuglio omogeneo composto principalmente da silice soda e calce, fuso ad una temperatura di circa 1500°C . In seguito al raffreddamento, la massa solidifica e acquista una struttura amorfa, non cristallizzata (struttura tipica dello stato solido in cui atomi, ioni e gruppi molecolari non sono organizzati in strutture cristalline) con le particelle disposte secondo una distribuzione casuale simile a quella dei liquidi.



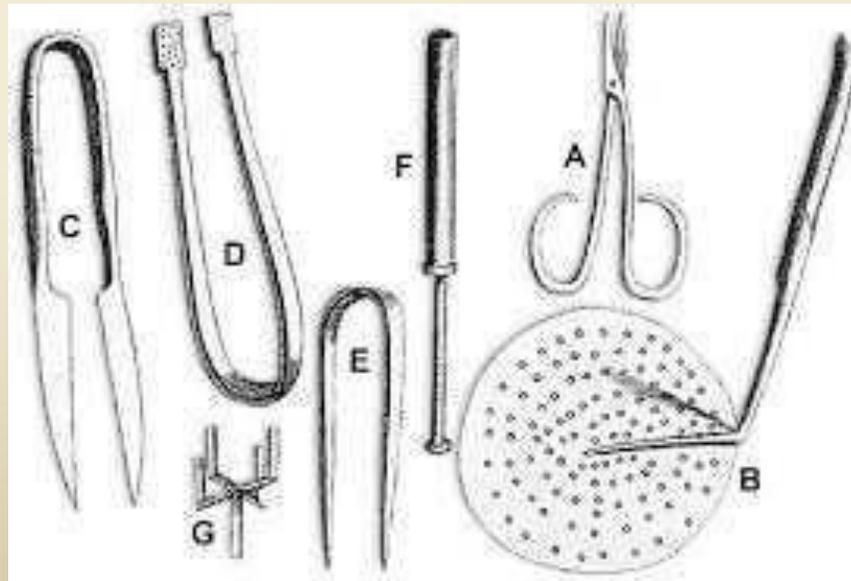


Nel passato per preparare il vetro bisognava creare una mistura di ceneri e sabbia questa era poi fusa all'interno di una fornace per ore così da eliminare eventuali bolle d'aria e scorie. La mistura veniva dunque rifusa e lavorata.

La colorazione del vetro antico era dovuta solo in parte dalla composizione chimica della miscela: dipendeva anche dalla procedura di fabbricazione, in particolare dallo stato di ossidazione o di riduzione della fornace e del vetro ancora caldo.

La maggior parte dei vetri antichi può essere classificata in tre principali categorie: vetro a colorazione naturale, incolore (decolorato) o colorato intenzionalmente.

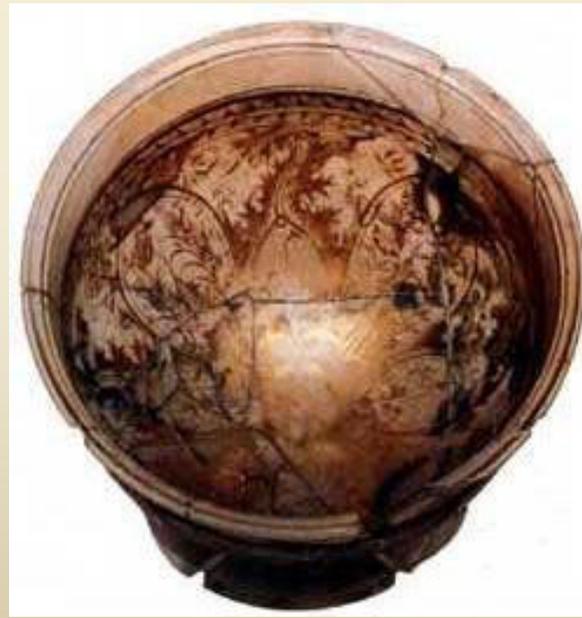
La colorazione naturale verde bluastra, verde chiara e giallo verdastra degli antichi manufatti era dovuta agli ossidi di ferro e ad altre impurità presenti nella miscela.

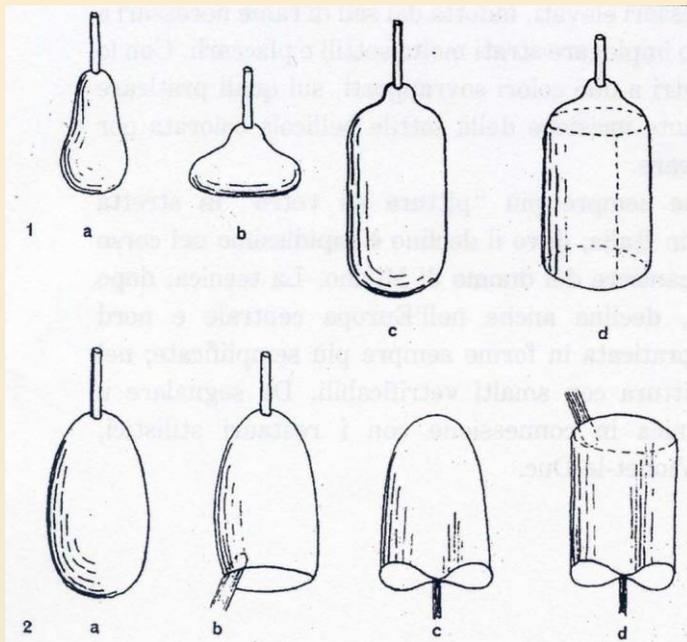


Tecniche di lavorazione antiche

Nell'antichità i procedimenti standard impiegati nella produzione del vetro erano riconducibili alle seguenti lavorazioni con molte varianti più o meno complesse:

- LAVORAZIONE A NUCLEO FRIABILE O A VERGA
- COLATURA A STAMPO
- SOFFIATURA LIBERA
- SOFFIATURA IN STAMPI E FORME DI VARIO TIPO

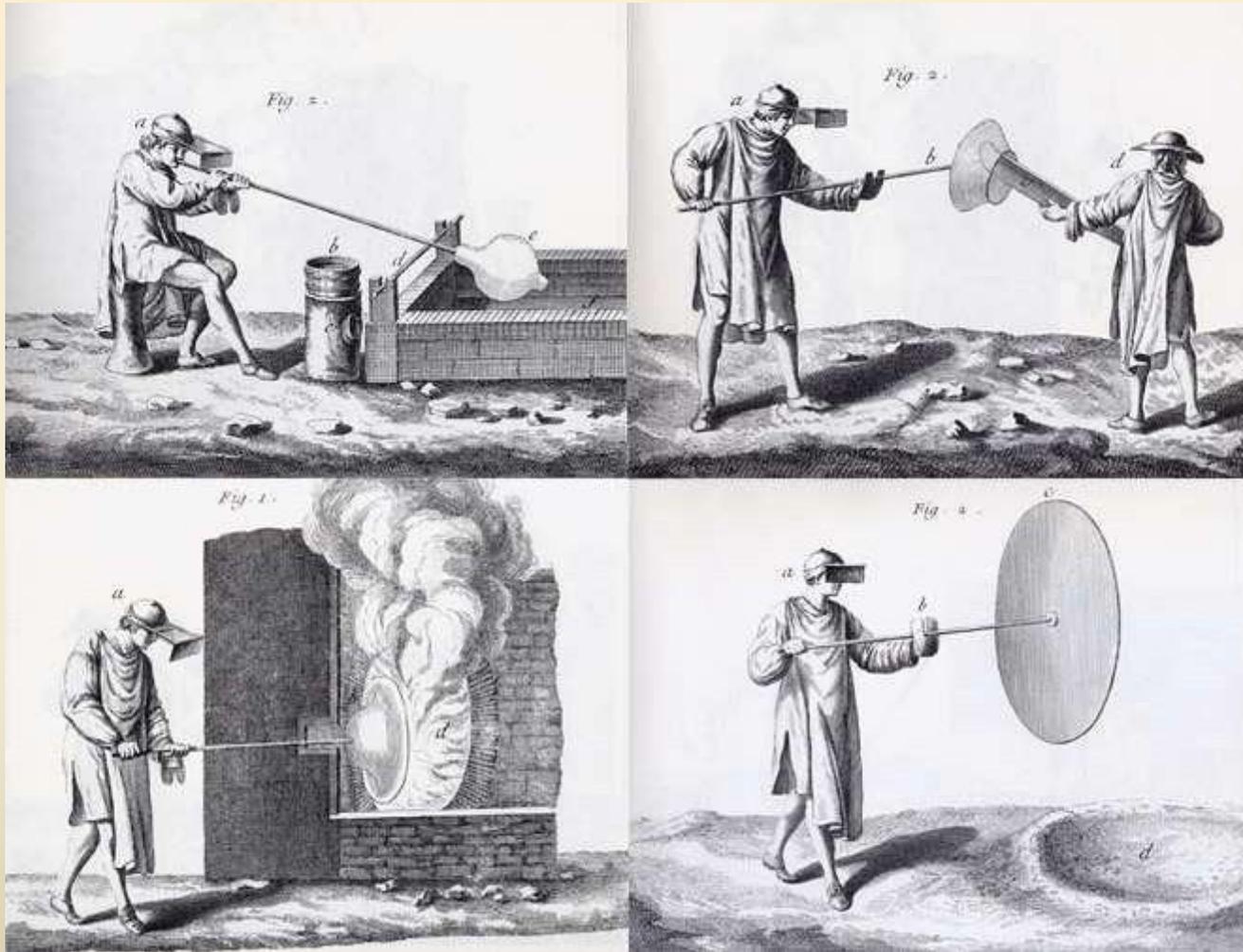




Alcune immagini della
Lavorazione a nucleo friabile



Lavorazione a corona



Tecnica di lavorazione per ottenere vetri piani. Il bolo doveva assumere una forma ovoidale molto schiacciata ai poli, per fissarvi all'estremità opposta un pontello. Si staccava poi la canna, in modo che lasciasse un orificio sul bolo: tramite la forza centrifuga di una rotazione continua impressa con il pontello, si otteneva un'estensione graduale del foro, fino a che tutto il bolo non si fosse trasformato in una sorta di disco piatto attaccato al pontello. Il cerchio vitreo così ricavato veniva poi staccato dal pontello, e su di esso rimaneva una sorta di occhio di vetro, spesso visibile nei pannelli più antichi. Si ottenevano dischi di un diametro massimo di 1,5 metri da cui poi occorreva ricavare vetri quadrangolari, con notevole spreco di materiale

Produzione di lastre piane ottenute per colatura

La tecnica della colatura per i vetri piani ebbe inizio in Inghilterra e Francia nel XVII Sec. La pasta vitrea veniva versata dal crogiolo direttamente su una lastra di ghisa; si passava a distenderla mediante un rullo guidato a mano su due regoli di ferro laterali, per lasciarla raffreddare lentamente ed ottenere pannelli di vetro di spessore costante. Con questo sistema si producevano lastre che già nel 1809 raggiungevano le dimensioni di 2,50 x 1,70 m. Per ottenere superfici piane con spessori minori, successivamente si diffuse la lavorazione per laminatura, con cui si producevano lastre mediante la formazione di un nastro di pasta vitrea attraverso cilindri in rotazione, fino al recente metodo del float glass.

- La tecnica della laminazione All'inizio del XVIII secolo si ha un cambiamento significativo nella produzione del vetro: la fabbrica di Saint - Gobain in Francia riesce a produrre in serie grandi lastre di vetro ottenute mediante colatura e laminazione di pasta vitrea allo stato fuso su piani metallici e durante il raffreddamento il vetro veniva steso con la pressione di cilindri rotanti per poi essere lustrato e lucidato in superficie . Tale tecnica perdurò per circa 200 anni, durante i quali vi fu un evidente incremento nell'applicazione di lastre piane a tamponatura di finestre, fino ad arrivare al commercio per l'edilizia comune abitativa.

Composizione del vetro

I vetrificanti sono sostanze che sotto l'azione del calore assumono una struttura vetrosa. Il vetrificante più comune è la silice, (SiO_2) che viene impiegata come sabbia naturale o di quarzite polverizzata con percentuali molto alte e variabili secondo i tipi di vetri.

I fondenti hanno la funzione di abbassare la temperatura di fusione del vetrificante (circa 1700°C per la silice). I più comuni sono la soda, carbonato di sodio, (Na_2CO_3) e la potassa, carbonato di potassio ed il solfato di potassio

Gli stabilizzanti servono ad aumentare la resistenza agli agenti atmosferici e all'azione dell'acqua: uno dei più utilizzati è il carbonato di calcio (CaCO_3).

Gli affinanti e omogeneizzanti sono sostanze che hanno la funzione di affinare e rendere omogenea la pasta del vetro. Per questo si usano i rottami di vetro, che essendo più fusibili del resto della massa vetrosa ne agevolano la fusione. Il nitrato di sodio (NaNO_3) e il nitrato di potassio (KNO_3), che sviluppano gas e che portano in superficie le bollicine e le impurità, eliminandole sotto forma di schiume.

Gli additivi coloranti sono composti metallici che conferiscono al vetro determinate colorazioni. I più importanti sono; ossido di ferro (blu e verde), ossido di rame (rosso e viola), ossido di cobalto (blu intenso), oro e stagno colloidali (dal rosa al porpora), selenio e cadmio colloidali (dal rosso all'arancio), cobalto selenio e ferro (bronzo), cobalto-selenio-ferro e cromo (grigio) .

La fabbricazione e la lavorazione del vetro si articolano nelle seguenti fasi:
preparazione della miscela e riscaldamento, fusione, formatura, ricottura e finitura.

Preparazione della miscela e riscaldamento: Le materie prime vengono opportunamente purificate, essiccate e tritate, dosate nelle dovute proporzioni. E' la fase iniziale, durante la quale, la carica, formata da componenti diversi tra loro, viene polverizzata e mescolata a rottami di vetro che agiscono da fondente. La granulometria della sabbia ed l'umidità della massa incidono direttamente sul punto di fusione. La miscela viene progressivamente riscaldata per un periodo di 6 ore.

Fusione: Durante la fusione si ottiene una massa omogenea e fluida. La fusione avviene a 1500°C grazie all'impiego dei fondenti, che riducono il punto di fusione della silice. Si verificano l'eliminazione dell'acqua presente nei componenti di partenza, la dissociazione dei carbonati e dei solfati con sviluppo di anidride carbonica o solforosa, la formazione di una massa fusa il più possibile omogenea. La durata di questa operazione è di circa 6 ore.

Affinazione (2° momento della fusione): è l'operazione con cui la massa fusa viene privata di tutte le bollicine di gas presente, che potrebbero dare origine a difetti nei manufatti preparati. In questa fase, si assiste alla deposizione sul fondo del forno delle parti non fuse e all'arrivo in superficie delle bolle di gas formatesi durante la fusione. Tali bolle sono originate dalla decomposizione dei carbonati e dei solfati iniziali in ossidi e anidride carbonica o solforica.

L'affinazione viene realizzata aggiungendo alla massa fusa piccole percentuali di agenti affinati. Questi facilitano notevolmente l'operazione, in quanto fanno aumentare il volume delle bolle e ne provocano l'espulsione, oppure permettono la diminuzione della solubilità dei gas nel vetro. Conclusa questa fase, il vetro fuso è una massa avente in tutti i punti uguale composizione chimica e, conseguentemente, le medesime proprietà fisiche. La durata di questa lavorazione è di circa 12 ore. Il vetro viene progressivamente lasciato raffreddare fino ad una temperatura di circa 950° C.

E' possibile, a questo punto, operare una decolorazione del vetro, tramite l'ossidazione di sali di ferro.

La fusione si conclude con la fase di riposo o di condizionamento, durante la quale la massa fusa viene raffreddata gradualmente fino alla temperatura di foggatura o di formatura.

La fase seguente è la formatura, eseguita in diverse modalità, quando il vetro è ancora fluido e si trova in un campo di temperatura nel quale assume viscosità tale da poter essere lavorato e da conservare la forma impartita, senza alterazioni.

La ricottura consiste in un riscaldamento del vetro fino alla temperatura superiore di ricottura e serve ad eliminare le torsioni che si generano durante la formatura e che rendono difficile le operazioni di finitura come, ad esempio, il taglio. E' una fase essenziale per eliminare le tensioni interne formatesi per irregolarità di riscaldamento o raffreddamento.

La scelta della temperatura e della velocità di raffreddamento sono in funzione del tipo di vetro e del suo spessore. Dopo aver raggiunto la temperatura dovuta, l'oggetto viene mantenuto in tale stato per un periodo sufficiente ad assicurare il raggiungimento dell'uniformità termica in ogni suo punto; quindi viene raffreddato lentamente fino a una temperatura inferiore di 50 °C a quella di ricottura, ed infine viene portato rapidamente a temperatura ambiente.

Trattamenti speciali sono la siliconatura e la solforazione. La prima, utilizzata soprattutto per i contenitori, avviene nel forno di ricottura. La seconda necessita di una ricottura del vetro in ambiente SO₂. Quest'ultimo determina la formazione di silicati alcalini solubili e quindi un depauperamento superficiale di alcali, con conseguente maggiore resistenza chimica.

.

- Modellazione
- Soffiatura
- Stampaggio
- Laminazione
- Soffiatura

Formatura e lavorazione lastre

- Lastre tirate
- Lastre laminate
- Lastre float

I prodotti vetrari vengono formati per modellazione, soffiatura, stampaggio, laminazione e filatura.

La modellazione è una tecnica che consente di tagliare, incidere, curvare e stirare il vetro fino a renderlo filiforme. Per effettuare questa lavorazione la massa vetrosa viene mantenuta ad una temperatura di circa 700°C.

La soffiatura si realizza a bocca o con ugelli che immettono nell'impasto aria compressa. E' utilizzata per la creazione di pezzi d'arte o per i vetri di laboratorio. Consente di formare ampole, bottiglie ecc., insufflando aria nella posta vetrosa mediante canule metalliche.

Questa tecnica di lavorazione può essere sia artigianale che industriale. In quest'ultimo caso si ricorre alla soffiatura con aria compressa in stampi realizzati in modo da consentire un'agevole estrazione dei prodotti.



Il bolo



Modellazione



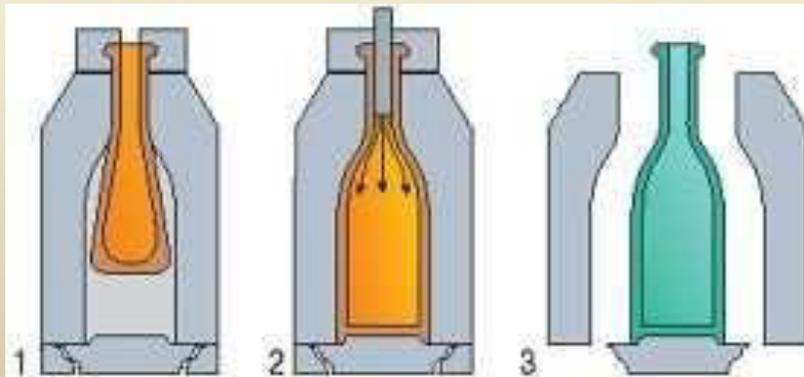
Soffiatura artigianale

La lavorazione del vetro

Colata e stampaggio: è un tipo di lavorazione in cui gli stampi, che possono essere di gesso, di refrattario o di ghisa, sono riempiti tramite gravità ed eventuale rotazione centrifuga attorno all'asse di rivoluzione, in modo da agevolare l'adesione della massa vetrosa allo stampo.

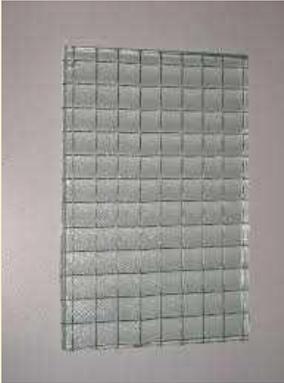
Lo stampaggio consiste nel versare la massa vetrosa in apposite forme in apposite forme con il fondo modellato con la forma voluta, dotate di coperchio a ceneriera quando occorre conformare anche la superficie superiore del pezzo.

Lo stampaggio può avvenire per compressione, oppure per soffiatura.



Stampaggio per soffiatura. Produzione industriale

La lavorazione del vetro



Laminazione: è adottata per la produzione di vetro piano. Consiste nel ridurre la pasta vetrosa in lastre dello spessore voluto, eventualmente includendovi reticoli o fili di acciaio, facendola passare attraverso un laminatoio a rulli controrrotanti. In questo tipo di tecnica, il vetro fuso scorre attraverso rulli di acciaio internamente raffreddati, dando luogo ad un nastro continuo della larghezza massima di 4 m e dello spessore minimo di 1mm. La finitura è realizzata in superficie, dopo il raffreddamento della massa, tramite mole abrasive che levigano ambedue le facce.

La filatura consente di ottenere prodotti come la seta di vetro o la lana di vetro. **Filatura:** consiste nella produzione di fibre di vetro di diametro compreso tra 1 e 8 micrometri, con resistenza alla trazione da 8500 a 20000 kgp/cmquadro. Tali fibre si ottengono attraverso tiraggio meccanico e soffiatura.

Tiraggio meccanico ad elevata velocità: secondo questo metodo, il fuso viene fatto passare in una filiera di platino, in modo da ottenere il raggruppamento in un plurifilamento. I filamenti ottenuti sono trattati successivamente con un appretto (amido o acetato di polivinile) e quindi sono avvolti su un tamburo rotante a 5000-7000 giri/min che ne determina il diametro.

Essi sono impiegati come rinforzanti di poliesteri (scafi delle barche).

Soffiatura con aria e vapore: consiste nell'utilizzo di getti di vapore o di aria compressa sui filamenti uscenti dalla filiera, in modo da determinarne la trasformazione in fibre discontinue sottili. Queste sono usate come materiale isolante termico o acustico.



- Lastre tirate
- Lastre laminate
- Lastre float

Lavorazione del vetro Formatura delle lastre

I primi processi per la produzione industriale di vetro destinato all' edilizia erano lavorazioni per colata o laminazione, il vetro fuso veniva colato su un piano metallico, steso con un rullo, ricotto, molato e lucidato.
E' Il più semplice processo di formatura per vetro piano.



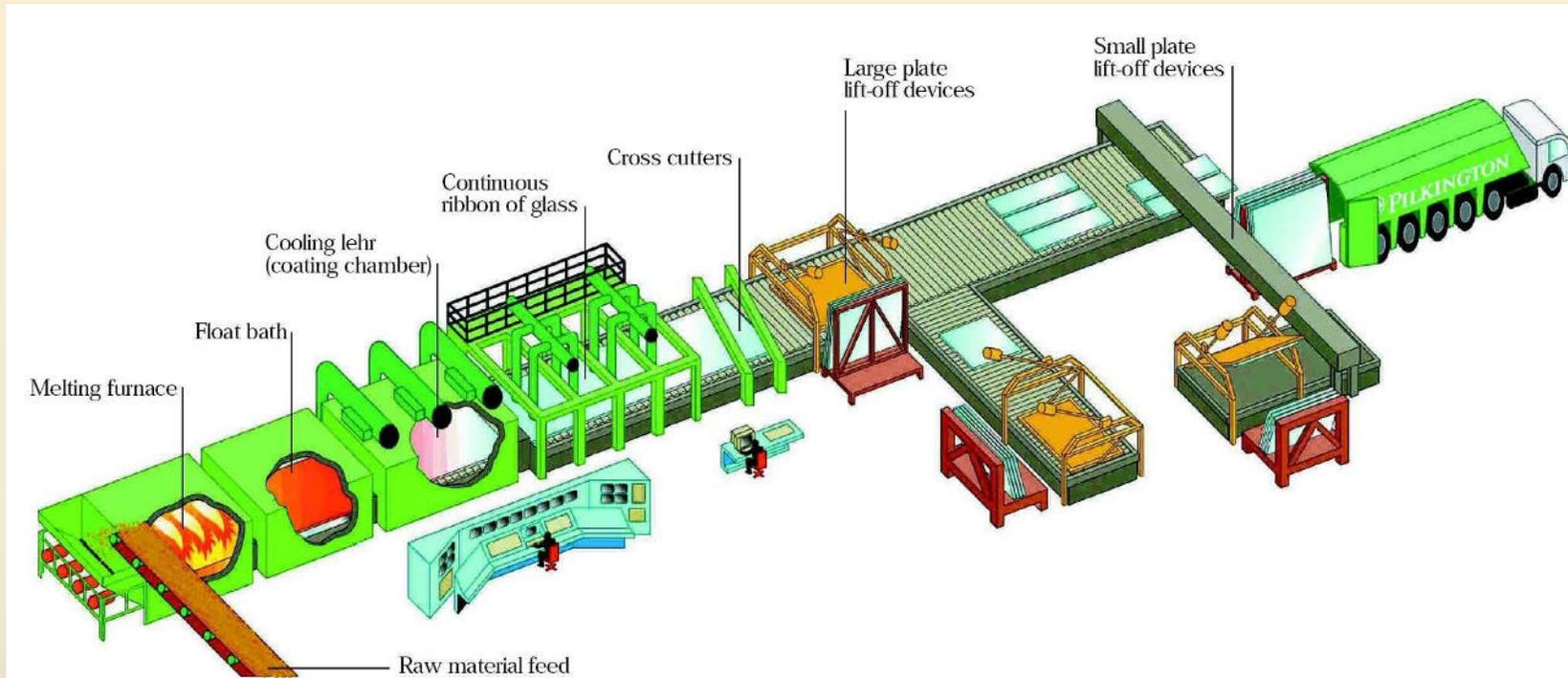
Successivamente venne introdotto un altro sistema di lavorazione, per tiraggio, il fuso viene tirato verso l'alto dove raffredda progressivamente, tra questi metodi il migliore è il metodo Pittsburgh introdotto nel 1925.



Vetro float,

Il processo del vetro float, messo a punto Sir Alastair Pilkington nel 1952, costituisce oggi lo standard mondiale della produzione vetraria di alta qualità.

Il processo, che in origine consentiva di produrre solo vetri con spessore da 6mm, ora raggiunge spessori che variano da 0,4 mm a 25 mm..



Linea Di Fabbricazione Float. Da sinistra verso destra nella figura sopra:

- alimentazione con materie prime
- fornaci di fusione
- primo raffreddamento su stagno fuso
- forno di ricottura
- taglio delle lastre di colata
- carico delle lastre sui mezzi di trasporto



Lavorazioni secondarie del vetro

Tipi di finitura

Meccaniche: pulitura, molatura, smerigliatura, intaglio.

Chimiche: opacificazione ottenuta tramite acido fluoridrico.

Termiche: fusione locale per incollaggio di più parti, ricottura, tempra.

Coefficiente di trasparenza: è una peculiarità del vetro definita dal rapporto tra il flusso luminoso che attraversa una lastra e quello incidente su di essa.

Resistenza agli sbalzi termici: E' particolarmente importante nei casi in cui l'esposizione a irraggiamento solare non uniforme produce sollecitazioni dovute alle diverse temperature esistenti tra un punto e l'altro della stessa lastra.

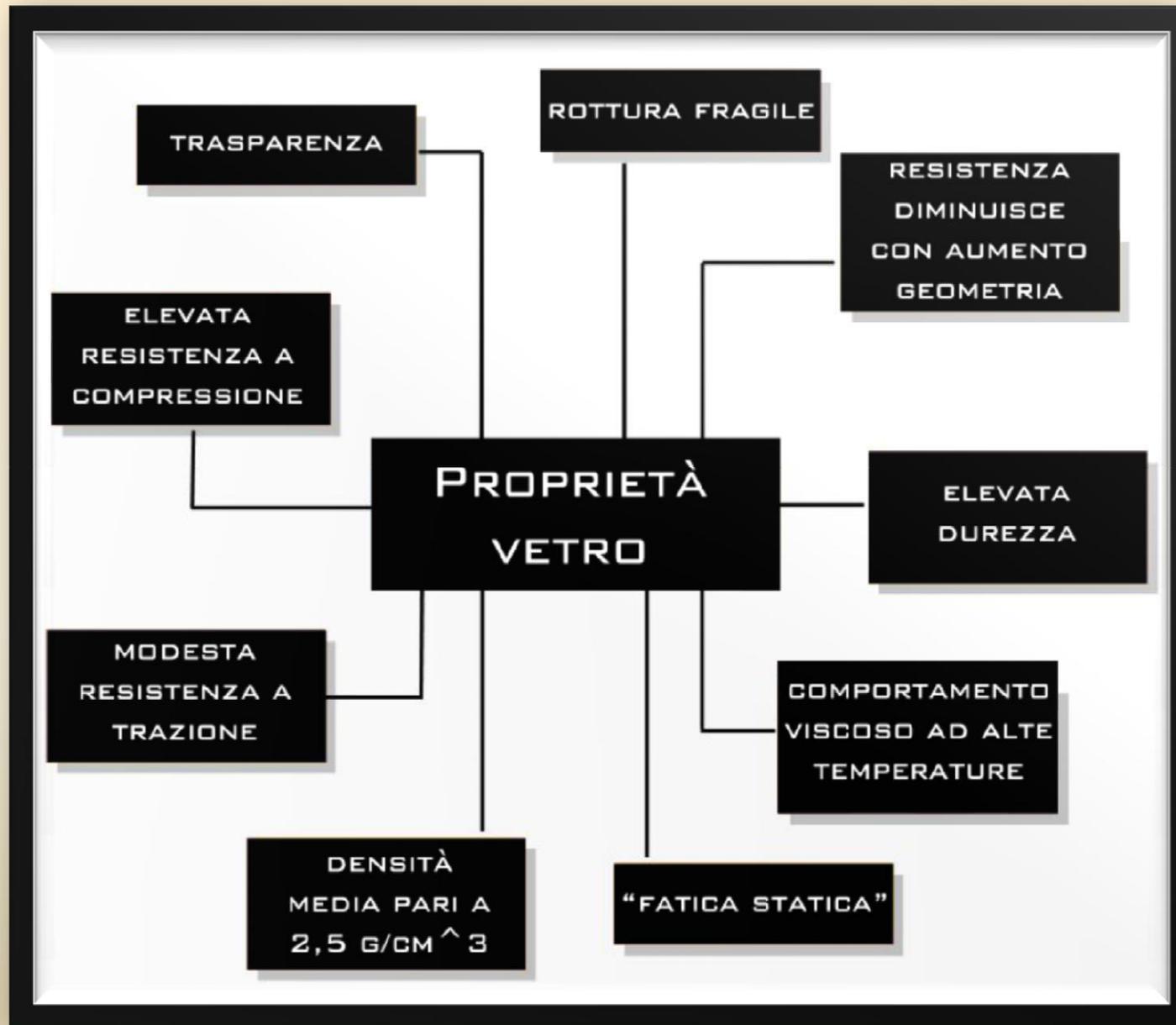
Dilatazione lineare: Il vetro possiede un coefficiente di dilatazione di circa $9 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Conduttività termica La conduttività termica del vetro varia notevolmente a seconda del tipo di vetro e della lavorazione. La conduttività termica del vetro è elevata a meno che non vengano presi adeguati accorgimenti. Quando il vetro è trasformato in lana di vetro la sua conduttività si riduce al punto di farlo diventare un isolante.

Resistenza al fuoco: solo alcuni vetri sono resistenti al fuoco.

Resistenza meccanica: E' una caratteristica molto importante specialmente per i serramenti esterni. La resistenza a rottura del vetro a flessione assume valori dell'ordine di 40N/mm² per il vetro ricotto e di 120-200N/mm² per il vetro temprato

PROPRIETA' DEL VETRO



Proprietà del vetro

Il comportamento termico e acustico delle superfici vetrate

Dispersione di calore attraverso le superfici vetrate.

A causa della loro elevata conduttività termica le lastre di vetro oppongono poca resistenza al passaggio del calore. Per contrastare il passaggio del calore bisogna ricorrere a prodotti vetrari come i vetri uniti al perimetro che consentono di avere valori adeguati di trasmittanza termica.

Apporto di energia radiante dall'esterno.

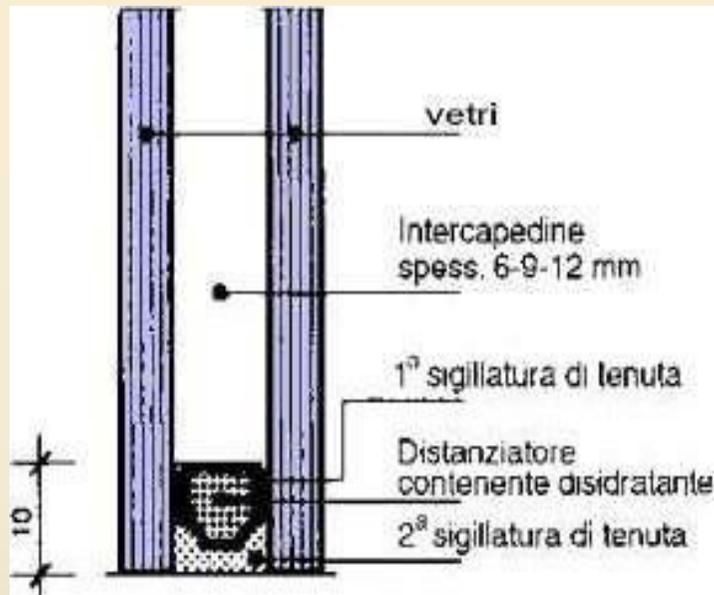
La radiazione solare che colpisce una superficie vetrata produce scambi termici piuttosto complessi. Una parte dell'energia si disperde riflettendosi verso l'esterno, un'altra parte viene assorbita dal vetro e la parte rimanente viene trasmessa all'interno. La parte di energia assorbita dal vetro, viene poi parzialmente trasmessa all'interno sotto forma di innalzamento della temperatura del vetro. L'energia solare entrante nell'ambiente è quindi data dalla somma dell'energia che raggiunge direttamente l'interno e l'energia emessa dal vetro sotto forma di calore all'interno dell'ambiente. Per valutare l'energia attraverso il vetro si ricorre al **fattore solare**, che è dato dal rapporto tra l'energia totale entrante in un ambiente attraverso una superficie vetrata e l'energia incidente .

Il potere **fonoisolante** dei serramenti.

Il potere fonoisolante dei serramenti dipende dalla permeabilità all'aria e dalla loro massa per unità di superficie, caratteristica che dipende dalla massa di vetro impiegata. La lastra di vetri uniti al perimetro non migliora l'isolamento acustico rispetto ad una lastra di spessore totale. A parità di spessore complessivo delle lastre di vetro, il potere fonoisolante aumenta se si ricorre ai vetri stratificati ad alta attenuazione acustica.

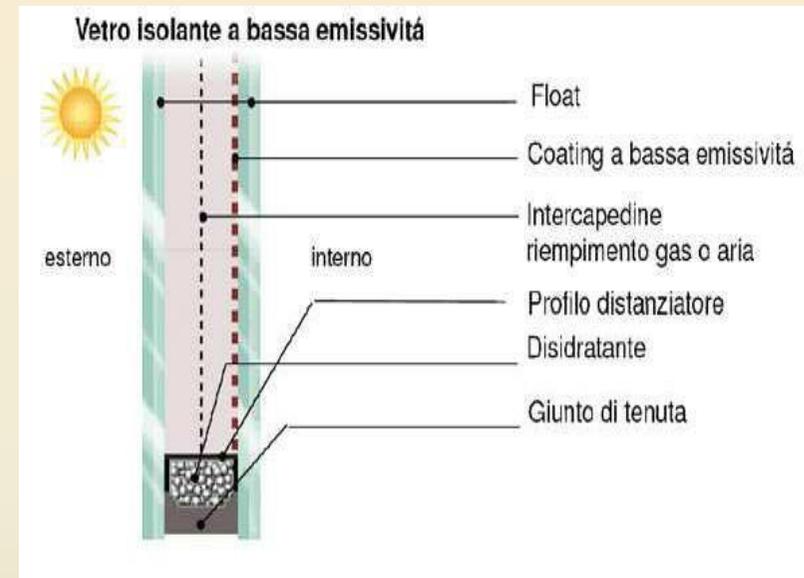
Vetri uniti al perimetro

TIPI DI VETRO



VETROCAMERA

É un materiale prefabbricato costituito da due lastre di vetro unite lungo il perimetro con un sigillante plastico, ma distanziate di almeno 4 mm.



VETRI BASSO-EMISSIVI

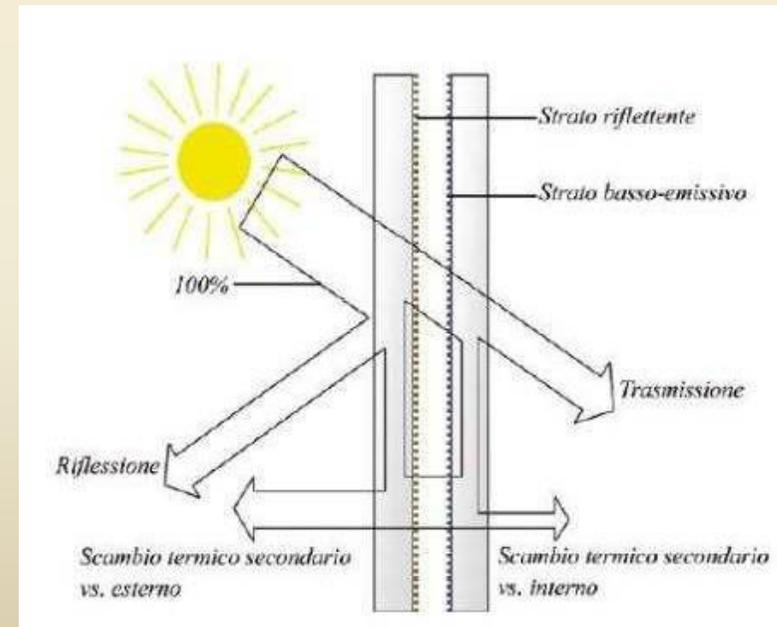
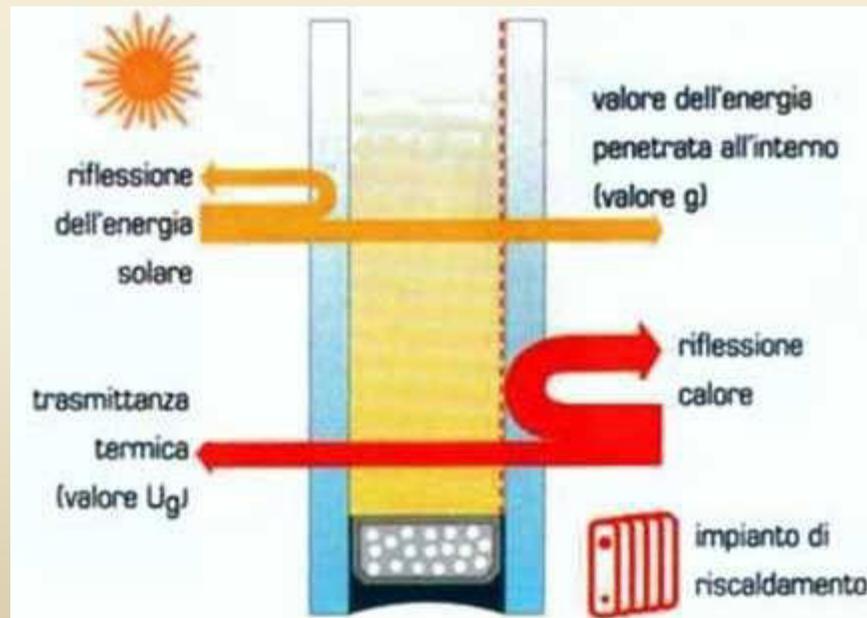
Sono in grado di trattenere fino al 90% del calore di un locale, evitando così la dispersione energetica. Sono consigliati nelle zone a clima particolarmente freddo.

Vetri bassoemissivi

I vetri bassoemissivi hanno anch'essi una faccia trattata con ossidi metallici, ma a differenza dei vetri a controllo solare hanno la caratteristica di riflettere verso l'interno il calore irradiato dagli impianti di riscaldamento, riducendo così la dispersione termica verso l'esterno.

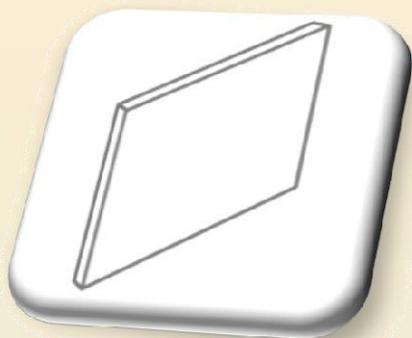
I vetri basso emissivi sono impiegati prevalentemente come lastra interna dei vetri uniti al perimetro.

I vetri basso emissivi sono realizzati con sistemi simili a quelli impiegati per vetri a controllo solare, vale a dire per processo di pirolisi o di polverizzazione catodica.

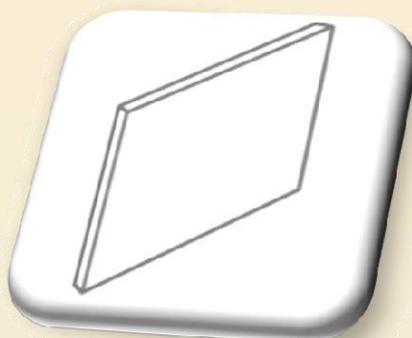


Vetro multistrato

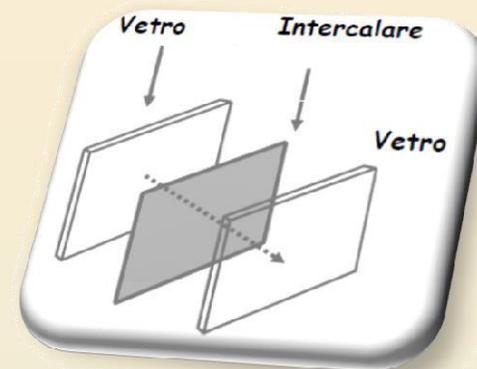
Tipi di vetro



vetro Float

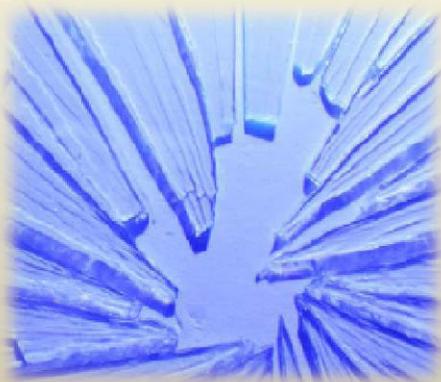


vetro temprato



vetro multistrato

Modalità di rottura



Si rompe in frammenti taglienti



Si rompe in piccoli frammenti

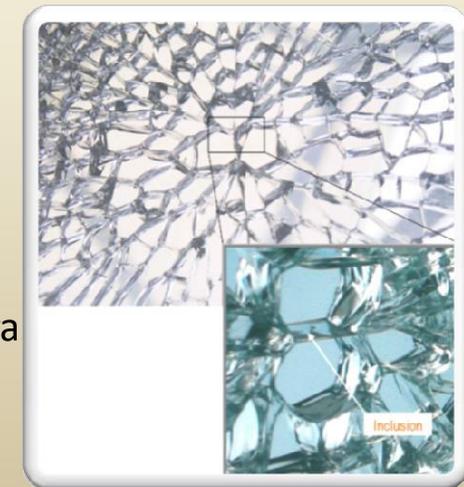


L'intercalare trattiene i frammenti

Trattamenti termici per aumentare la resistenza

Tempra

- Q Attraverso questo processo si fornisce uno stato di precompressione superficiale che conferisce maggior resistenza in quanto non consente la propagazione della frattura degli inevitabili difetti superficiali
- Q Due tipi di tempra: chimica e termica
- Q Vetro temprato: raffreddamento lento della miscela vetrosa fusa con successivo riscaldamento uniforme a temperatura vicino al punto di rammollimento ($650^{\circ}\text{C}/750^{\circ}\text{C}$)
- Q Effetti:
 - rimozione tensioni indesiderabili generate precedentemente
 - resistenza a trazione dell'ordine di 200/250 MPa, circa 2/3 volte superiore a un vetro ricotto
 - rigidità di una lastra soggetta a pressione uniforme quadruplicata
 - resistenza all'urto raddoppiata
- Q Svantaggi
 - Impossibilità di seconde lavorazioni (taglio, perforazione ecc.)
 - Inclusioni di solfuro di Nichel (NiS), che trovandosi nella parte centrale in tra dell'aumento di volume ne provoca la rottura in frantumi



UTILIZZI DEL VETRO

Il vetro si presta a numerosi utilizzi in varie applicazioni, grazie alle sue particolari proprietà fisiche e meccaniche.

In architettura, una volta posato in opera, il vetro può sopportare i carichi dovuti agli agenti atmosferici (vento, neve, ecc) o altri carichi variabili di esercizio.

Nonostante il vetro sia un materiale per sua definizione fragile, la probabilità di rottura può essere minimizzata. Un componente in vetro può essere progettato in modo che le conseguenze di un'eventuale rottura non siano necessariamente catastrofiche ed anzi riducano il rischio di danni a persone e cose.

Il vetro può trovare applicazioni in coperture vetrate, piani calpestabili oppure parapetti, per aumentare il grado di protezione delle persone. Può altresì essere impiegato per aumentare la sicurezza degli occupanti degli edifici.

Recentemente il suo utilizzo si è anche esteso ad applicazioni di carattere strutturale, quali travi, pilastri, ...

Strutture in vetro

Pilastri in vetro

Q Generalmente compressi, il vetro si presta bene alla realizzazione

Problemi

➤ Realizzare vincoli di estremità che eliminano momenti flettenti parassiti;



Strutture in vetro

Pilastri in vetro



Tensostruttura di Lugano, Svizzera

Giunzione di attacco colonne-facciata



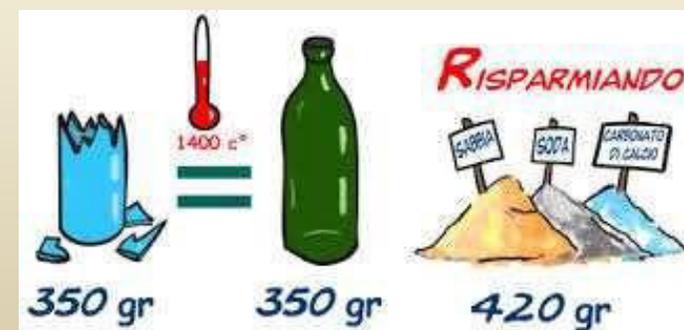
Strutture in vetro

Travi in vetro – applicazioni reali





Riciclo del vetro





Riciclo del vetro

