

Materiali per il Design degli Interni

Applicazioni dei Materiali nel Design

- Mail: **lina.altomare@polimi.it**
- Telefono: **02-2399-3269**
- Ricevimento: **su appuntamento** via mail

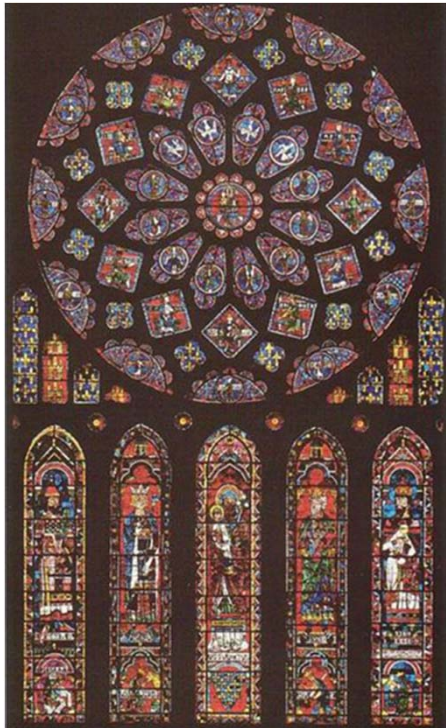
Cosa troviamo in cucina?



Dove troviamo il vetro

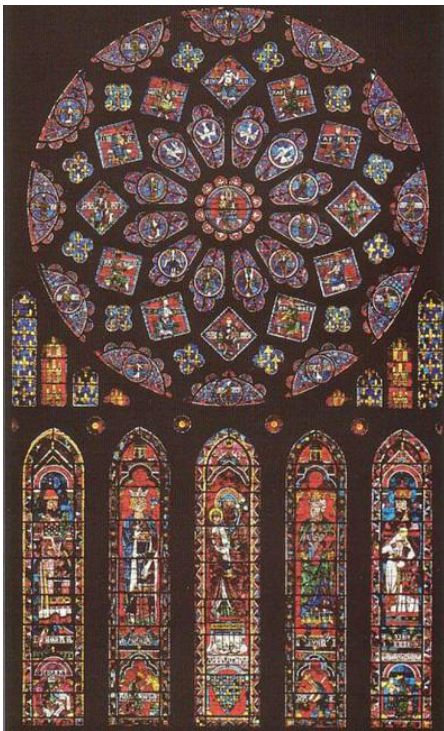
- Finestre
- Ante cucina
- Porte

Il vetro è un materiale antico



I Vetri Tradizionali Inorganici

I vetri comuni sono il prodotto della solidificazione, senza cristallizzazione, di una miscela omogenea composta principalmente da silice, soda e calce, "fusa" ad una T di circa 1500°C fino ad ottenere una massa viscosa.



Già noti dall'antichità (3000 A.C. in Egitto e Mesopotamia), i vetri si sono sviluppati nel tardo Medioevo (Siria, Venezia) fino alla produzione attuale di oggetti di consumo (lampadine, bottiglie, lastre, contenitori...).

Attualmente si conoscono ben 100.000 tipi di vetri!

I Vetri Tradizionali Inorganici



Storia del vetro

Primi vasi: 3500 anni fa in Siria, Mesopotamia



Egitto: 1400 – 1360 A.C.
dimensioni: 3.4 cm x 6 cm



maschera in vetro di
faraone egiziano

Storia del vetro

Giare in vetro del Mediterraneo

primi esemplari: 600 A.C. Cipro e
Palestina

larghe ciotole, leggermente
colorate o incolori



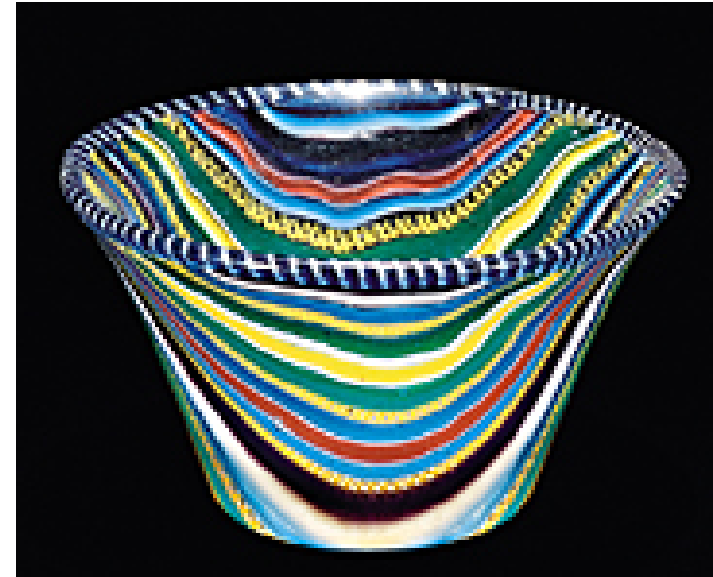
Amphoriskos
Mediterraneo orientale, II sec. A.C.
vetro e pietra
altezza complessiva: 24 cm

Storia del vetro

I secolo A.C.

mosaico a nastro realizzato
rammollendo insieme una serie di
canne di vetro

Dal I secolo: diffusione vetro incolore



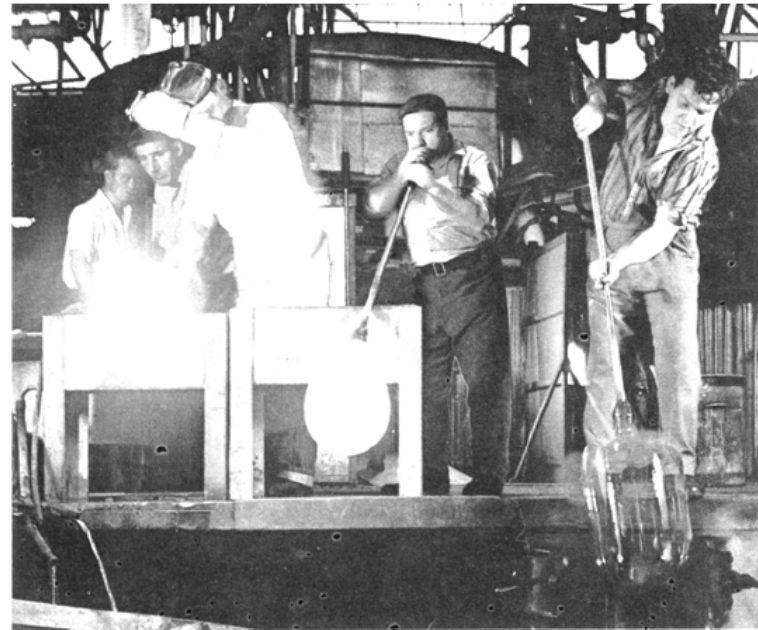
Coppa di vetro a nastro
Impero Romano
periodo: 25 A.C.- 50 D.C.
dimensioni: 4,8 cm; Ø 8,6 cm

Soffiatura:

a partire dal 50 A.C.

possibilità di realizzazione di una grande varietà di forme

possibilità di produrre velocemente elevate quantità di pezzi

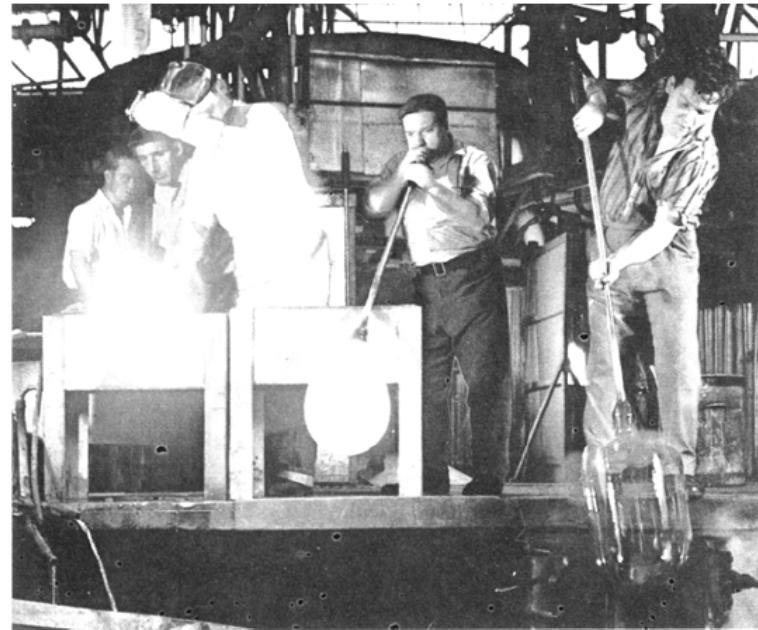


Soffiatura:

a partire dal 50 A.C.

possibilità di realizzazione di una grande varietà di forme

possibilità di produrre velocemente elevate quantità di pezzi



tecnica:

1. il vetraio raccoglie all'estremità di una canna d'acciaio una certa quantità di vetro;
2. soffiando nell'altra estremità della canna, realizza una bolla che può modellare con appositi strumenti.

Storia del vetro

Venezia: produzione di vetro
massiva

ca. 1000 D.C. - 1291
oggi a Murano

polveri di vetro colorate con ossidi
di metalli di transizione

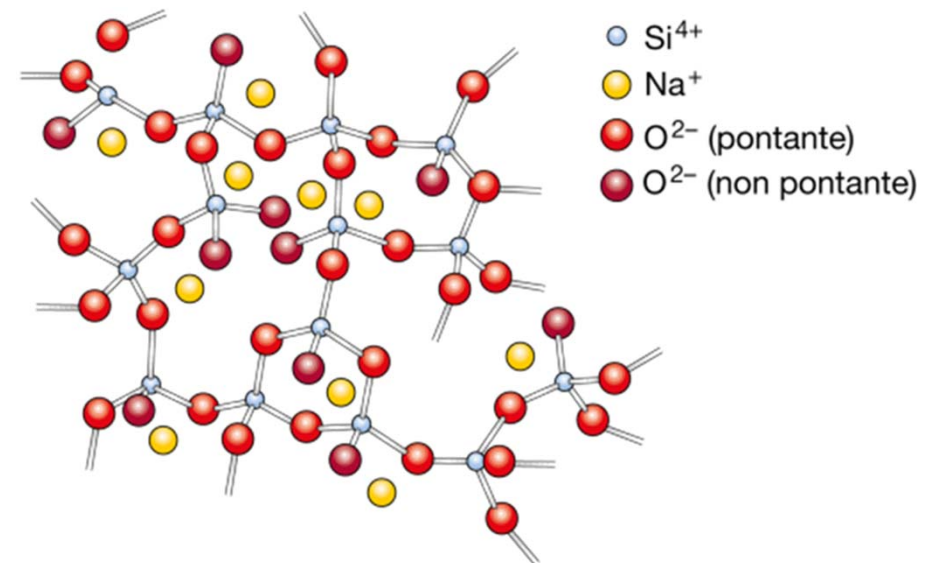
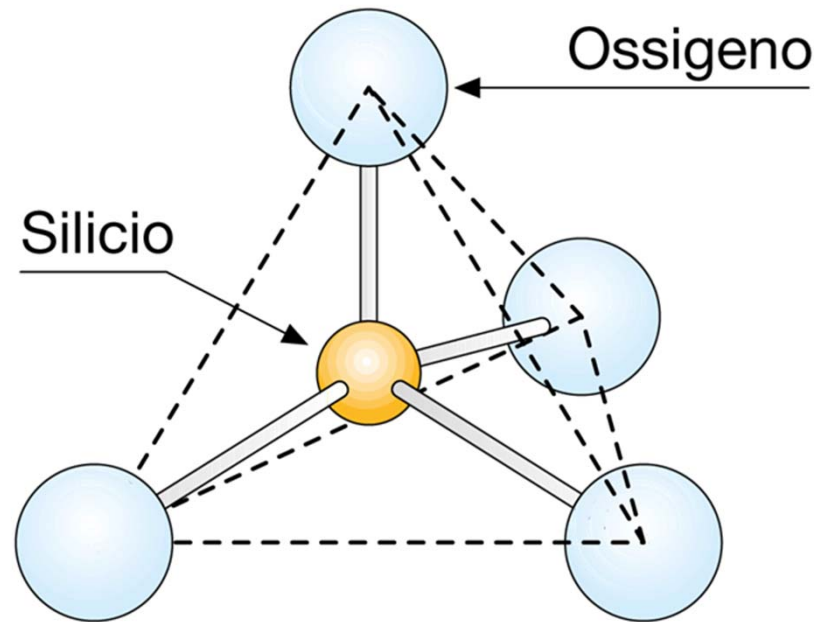
Goblet with Grotesque
Decoration
Italia, Venezia, 1500-1525



Primi prodotti "industriali"

I Romani iniziarono ad utilizzare il vetro per scopi architettonici, grazie alla scoperta del vetro chiaro (mediante l'introduzione dell'ossido di manganese) ad Alessandria intorno al 100 D.C. Finestre di vetro colato, sebbene di bassa qualità, cominciarono a comparire negli edifici più importanti di Roma e nelle ville più di lusso di Ercolano e Pompei.

La Struttura Dei Vetri



Silice vetrosa: si ottiene per raffreddamento di silice fusa, e l'unità strutturale è il tetraedro silicico $[\text{SiO}_4]^{4-}$

I vetri sono una miscela di silicati con struttura amorfa, per molti aspetti **più simile alla struttura di un liquido** che a quella di un solido

Solido trasparente, omogeneo e compatto

I vetri sono detti anche liquidi superraffreddati

raggiunta la temperatura di solidificazione, le molecole, a causa dell'attrito interno, non riescono a disporsi in modo da formare un reticolo cristallino

Sono solidi **amorfi**

Vetri - Composizione

I vetri sono miscele di silicati, borati o fosfati di metalli
monovalenti (Na e K)
bivalenti (Ca, Ba, Pb, Zn)
trivalenti (Fe, Al)

Materie prime

60-70% SiO_2

Ossidi inorganici che si distinguono a seconda della loro funzione

Vetrificanti: SiO_2 , B_2O_3 e P_2O_5

Fondenti: es. metalli alcalini e alcalino-terrosi per abbassare il punto di rammollimento

Vetri - Composizione

Vetrificanti

Sono sostanze che per semplice fusione e raffreddamento possono assumere struttura vetrosa, come la silice (SiO_2)
Lo stato vetroso è instabile, con tendenza a *devetrificare* (cristallizzare), portando alla perdita delle proprietà, quali la **trasparenza**

Fondenti (Modificatori)

Vengono aggiunti ai vetrificanti per abbassare il punto di rammollimento

CaO e MgO aumentano la resistenza meccanica e chimica

BaO e PbO aumentano densità, tenacità, lucentezza e elasticità

Al_2O_3 aumenta la viscosità

Materie accessorie (coloranti e opacizzanti)

Vetri - Composizione

**I vetri comuni sono a matrice silicea (circa 75%)
con aggiunta di fondenti e modificanti**

miscela pre-fusione: sabbia silicea la cui purezza è in funzione
del vetro da ottenere

Vetri comuni e colorati intorno a 95%, vetri per ottica 99,7%

Coloranti

Diversi ossidi metallici, variano a seconda del colore finale che
si vuole ottenere

Opacizzanti

Persistono nella massa vetrosa sotto forma cristallina
diminuendone la trasparenza

Granulometria dei componenti

fine compresa tra 0.1-0.6 mm

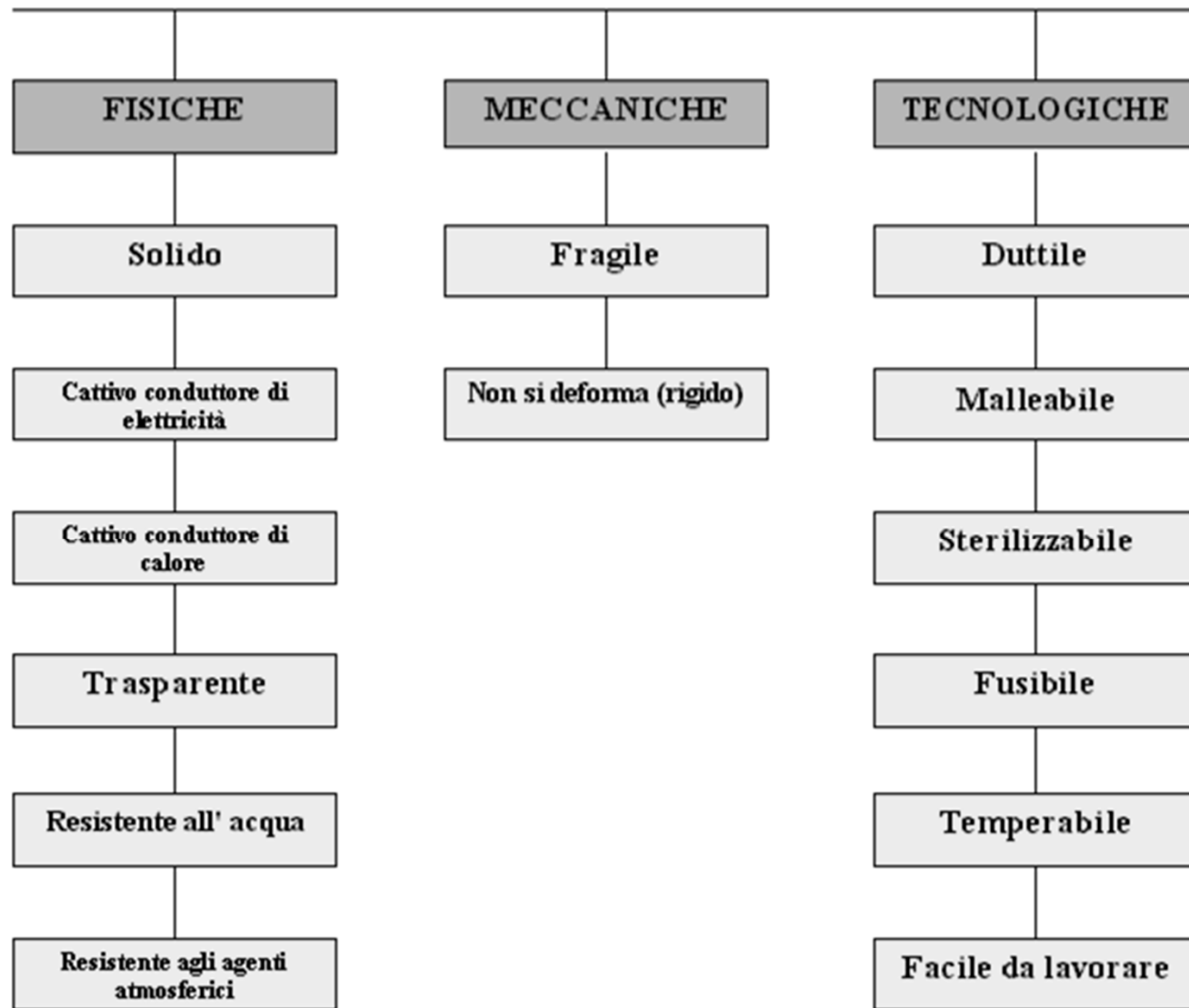
Tipi di vetro

Tipo di vetro	%SiO ₂	%Na ₂ O	%CaO	%Al ₂ O ₃	%B ₂ O ₃	%Altri
Vetro di silice	>99,5	-	-	-	-	-
Vycor	96	-	-	-	4	-
Borosilicato (pyrex)	81	3,5	-	2,5	13	-
Sodico-calcico	74	16	5	1	-	4MgO
Fibre di vetro	55	-	26	15	10	4MgO
Vetro per lenti	54	1	-	-	-	37PbO; 8 K ₂ O
Vetro-ceramici	43,5	14	-	30	5,5	6,5 TiO ₂ ; 0,5 As ₂ O ₃

Vetri comuni - applicazioni

Tipi di vetro	Caratteristiche	Applicazioni
Sodico-calcici	Basso costo, lavorabilità	Finestre, contenitori lampadine
Di silice	Bassissimo coefficiente di dilatazione	Vetriere tecnica (Vycor)
Al borosilicato	Basso coefficiente di dilatazione	Pyrex
Al piombo	Alto indice di rifrazione	Cristalleria, schermi per radiazioni
Allumino-boro-silicati	Elevata resistenza chimica	Contenitori per farmaci, profumi

Vetro - Proprietà



Proprietà fisiche

Densità

Dipende dalla composizione: da 2.2 g/cm^3 per i vetri silicei a 4.8 g/cm^3 per quelli al piombo

Dilatazione termica

determina la resistenza agli sbalzi termici di un vetro (inversamente proporzionale al coefficiente di dilatazione) e quindi la possibilità di impiegarlo a temperature elevate

Dipende dalla composizione chimica del vetro

Sopporta riscaldamento uniformi e gradualmente

Proprietà meccaniche

A T ambiente si considera un materiale di tipo elastico, con resistenze modeste in trazione ed un buon comportamento in compressione

Fragile

Proprietà fisiche

Proprietà elettriche

a temperatura ambiente è un buon isolante elettrico. Una modesta conducibilità che si misura al crescere della temperatura è dovuta alla mobilità di alcuni elementi presenti nel vetro (Li, Na, K ecc.)

Proprietà ottiche

la più importante è **la trasparenza**. E' dovuta essenzialmente al basso coefficiente di assorbimento delle lunghezze d'onda nel visibile

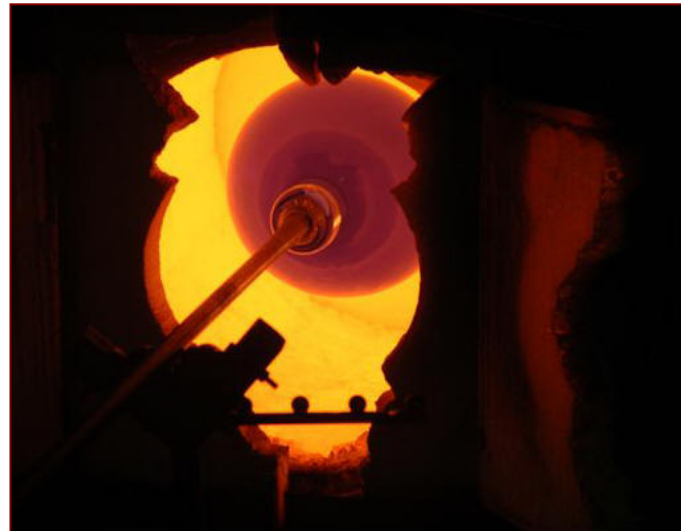
Proprietà chimiche

A T ambiente il vetro resiste a quasi tutti i prodotti chimici, in particolare è resistente agli acidi (tranne **l'acido fluoridrico**)

E' invece più sensibile agli attacchi delle basi (es. NaOH).

Lavorazione del vetro

Il vetro viene lavorato allo stato plastico in un campo di temperatura tra 800 e 1500 °C



Lavorazione del vetro

Preparazione della miscela: purificazione, essiccazione, macinazione e mescolamento delle polveri → ottenimento della massima omogeneità dei reagenti;

Fusione: dura oltre 6 ore a circa 1500°C → massa fluida ed omogenea (forni a canale, a bacino, a crogiolo);

Affinazione: eliminazione di gas e impurità mediante discesa lenta a 1200°C in 12 ore;

Formatura: fino alla T di lavorazione (fra 1200 e 950°C);

Ricottura: rilascio tensioni interne mediante riscaldamento a $T \cong T_g$ e lento raffreddamento a T ambiente.

Lavorazione del vetro

Formatura

- **Metodi artigianali:** fusione e colata, soffiatura, pressatura, vetro fusione, murrina, mezza filigrana, vetro cilindro, lavorazione al lume
- **Metodi industriali:** vetro tirato, galleggiamento (vetro float), soffiatura, pressatura, fibre di vetro

Lavorazioni artistiche



Soffiatura



Ruotare e riscaldare



Soffiatura e
formatura con
successivi
riscaldamenti



Apertura del
pezzo e
formatura finale

E' possibile effettuare anche la soffiatura in stampo, per ottenere ad esempio calici o bottiglie con decorazioni superficiali



Metodi artigianali: murrina

unire canne di vetro di vario colore, in modo da formare un disegno prestabilito, riscaldate fino a formare una canna unica.

La canna viene poi tagliata in senso trasversale ottenendo piccoli dischi, che vengono poi nuovamente riscaldati per essere soffiati e lavorati a mano per assumere la forma definitiva.



Metodi artigianali: lavorazione al lume

lavorazione artigianale originaria di Murano, ed è molto utilizzata per la realizzazione di oggettistica e gioielli.

modellare il vetro portandolo alla temperatura di lavorazione grazie all'utilizzo di una fiamma ricavata dall'erogazione contemporanea di metano ed ossigeno.



Metodi artigianali: lavorazione al lume

creare innumerevoli oggetti (come perle, pendenti, anelli, oggetti miniaturistici vari)

innumerevoli sfumature di colore, mescolando a caldo canne differenti

utilizzo della canna forata permette di creare oggetti in vetro soffiato.



Metodi artigianali



“Fusione” (1500°)

la carica polverizzata e mescolata a rottami di vetro viene riscaldata

l'eliminazione dell'acqua dei componenti di partenza,

la dissociazione dei carbonati e dei solfati con sviluppo di anidride carbonica o solforosa,

la formazione di una massa il più possibile omogenea

Affinaggio (1200-1300°C)

la massa fusa viene privata di **tutte le bolle di gas** presente, che potrebbero dare origine a difetti

deposizione sul fondo del forno delle parti non fuse e arrivo in superficie delle bolle di gas formatesi durante la fusione

Conclusa questa fase, il vetro fuso è una massa avente in tutti i punti uguale composizione chimica e medesime proprietà fisiche

Riposo o di condizionamento

la massa fusa viene raffreddata gradualmente fino alla temperatura di formatura

Formatura (1000-1100°C, 1h)

si effettua con il vetro ancora fluido e in un campo di T nel quale assume viscosità tale da poter essere lavorato e da conservare la forma impartita, senza alterazioni

Può essere eseguita con diverse modalità

Produzione di vetro cavo

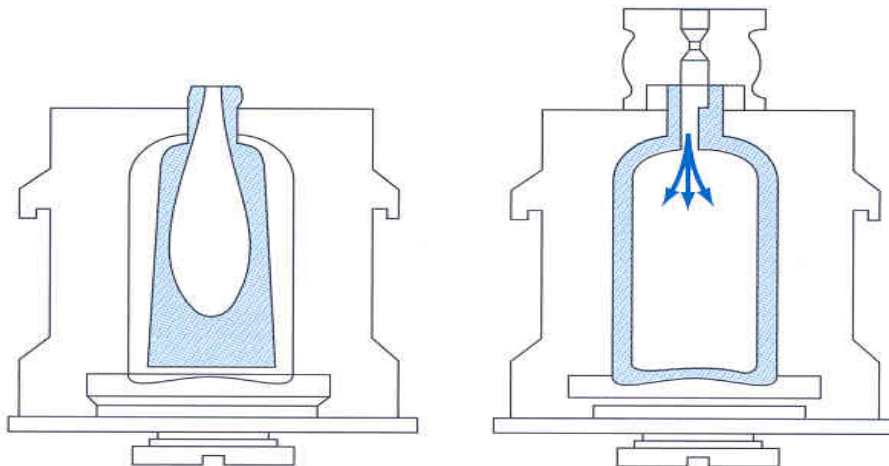
Colata e stampaggio

gli stampi, che possono essere di gesso, di refrattario o di ghisa, sono riempiti per gravità ed eventuale rotazione centrifuga attorno all'asse di rivoluzione, in modo da agevolare l'adesione della massa vetrosa allo stampo

Lo stampaggio può avvenire

per compressione utilizzato per creare prodotti di discreto spessore

per soffiatura utile per la produzione di oggetti sottili (ugelli che immettono nell'impasto aria compressa)



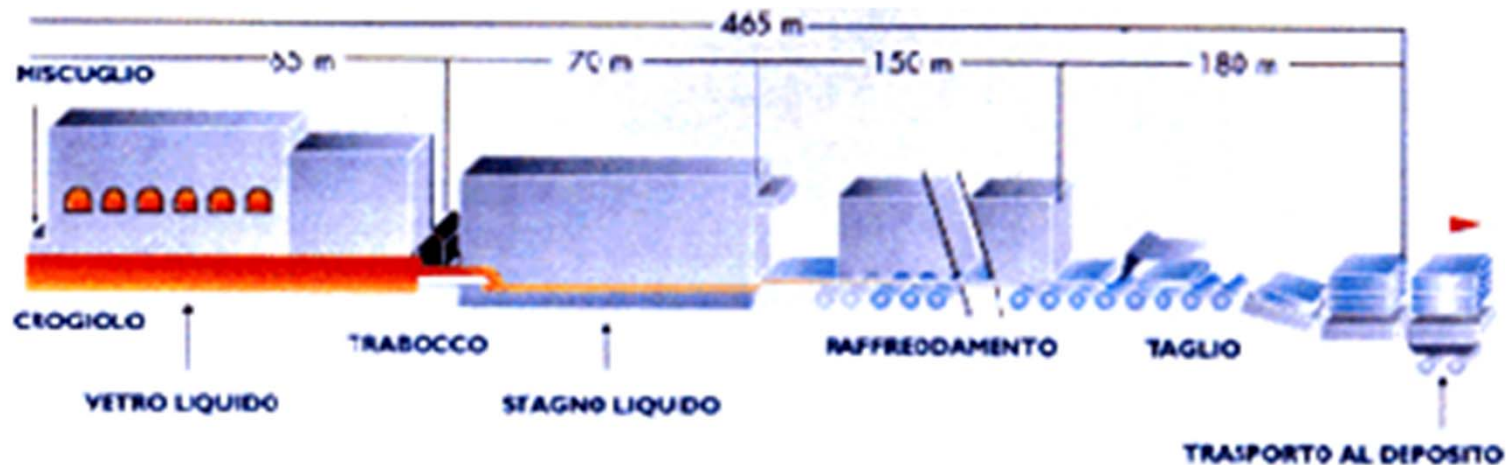
Produzione di lastre piane

Processo float (Pilkington)

La pasta vitrea ($T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$), assume forma perfettamente piana in un forno a tunnel la cui base è formata da un letto di stagno fuso

Lo stagno leviga la superficie inferiore del vetro per diretto contatto, mentre la parte superiore si appiattisce per gravità essendo ancora allo stato semifuso

Lo spessore è regolato dalla velocità dei rulli di immissione del fuso nel forno

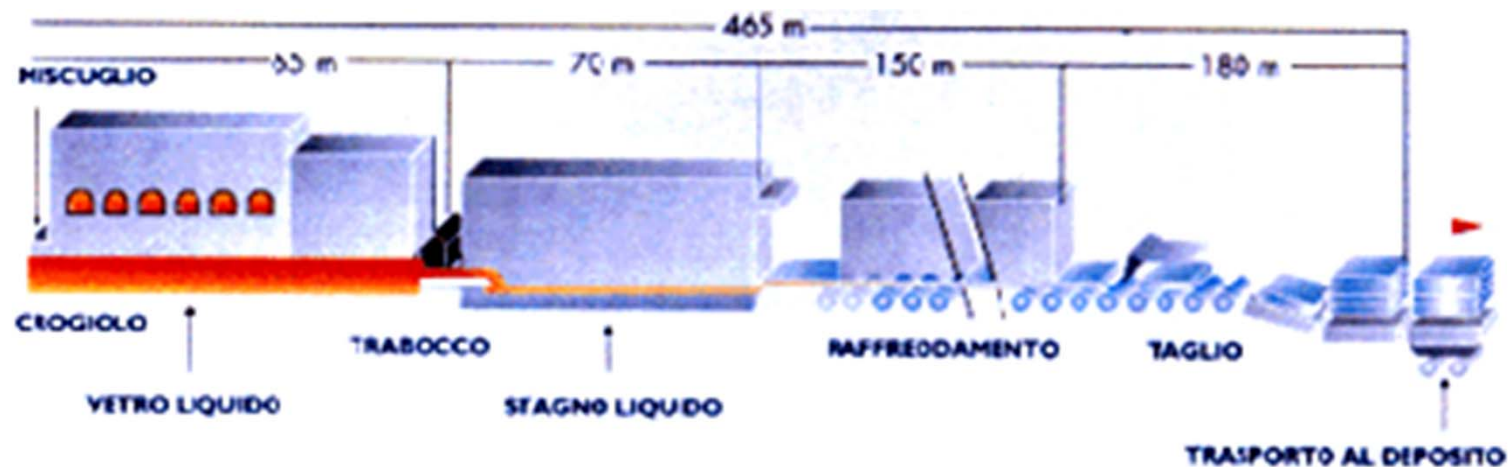


Produzione di lastre piane

Processo float (Pilkington)

Dopo questa operazione la T è di $\approx 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ed il vetro solido viene sollevato e posto in un tunnel di raffreddamento

Segue la fase di taglio trasversale del vetro in lastre (max 6 m) e un ulteriore taglio longitudinale per rimuovere le tracce dei rulli



Vetro – processi di finitura

Meccanici

pulitura, molatura, smerigliatura, intaglio

Chimici

opacizzazione ottenuta tramite acido fluoridrico

tempra

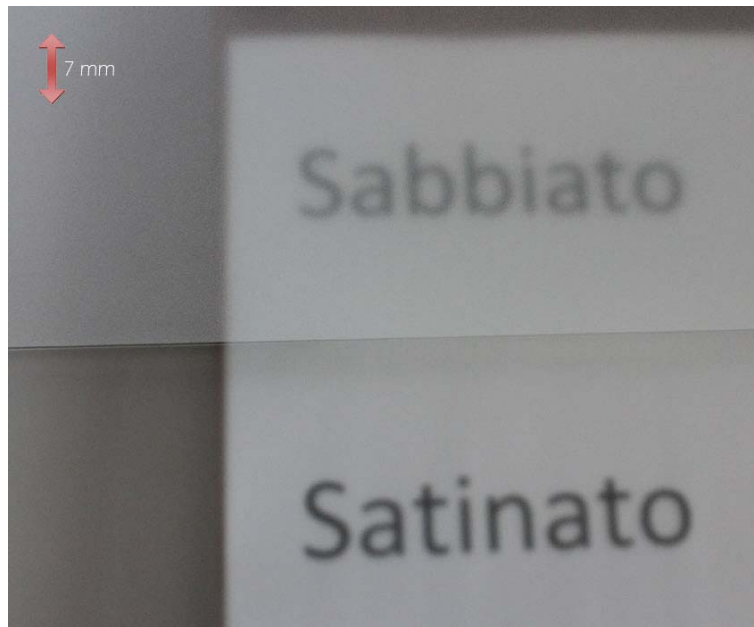
Termici

fusione locale per incollaggio di più parti

ricottura

tempra





vetro sabbiato: un lato della superficie **leggermente ruvido**, di colore tendente al bianco.

Trasparenza molto limitata e la sagoma di un oggetto che non risulti appoggiato alla superficie del vetro, risulta molto indefinita e indistinguibile.

vetro satinato: presenta la superficie dei due lati **liscia al tatto**, colore lattiginoso. A differenza del vetro sabbiato, il colore risente maggiormente della tonalità dello spazio retrostante.

finiture

Satinatura: aggressione chimica da acidi, che ne modificano l'aspetto superficiale ma non le proprietà meccaniche.

superficie liscia, morbida al tatto, realizzata sulle lastre intere in un processo continuo, finitura con risultati uniformi e costanti.

Sabbiatura: sabbie di diverse granulometrie, ad alta pressione, in modo da "scavare" la superficie

superficie ruvida al tatto, processo lento realizzato direttamente sul pezzo finito, non garantisce uniformità della superficie trattata,



Tipi di vetro

Tipo di vetro	%SiO ₂	%Na ₂ O	%CaO	%Al ₂ O ₃	%B ₂ O ₃	%Altri
Vetro di silice	>99,5	-	-	-	-	-
Vycor	96	-	-	-	4	-
Borosilicato (pyrex)	81	3,5	-	2,5	13	-
Sodico-calcico	74	16	5	1	-	4MgO
Fibre di vetro	55	-	26	15	10	4MgO
Vetro per lenti	54	1	-	-	-	37PbO; 8 K ₂ O
Vetro-ceramici	43,5	14	-	30	5,5	6,5 TiO ₂ ; 0,5 As ₂ O ₃

Vetro di silice

Si ottiene per fusione di vetro di silice da quarzo purissimo a $T > 2000^{\circ}\text{C}$

Ecco le principali caratteristiche:

- si può impiegare fino a oltre 1000°C

- bassissimo α

- trasparente a UV e IR

- si utilizza per strumenti ottici, nelle industrie e nei laboratori chimici.

Vetro sodico-calcico (soda-lime)

È il vetro più comune:

basso costo

facile fabbricazione e lavorazione

buona resistenza alla devetrificazione e
stabilità all'acqua

Trova applicazione nella realizzazione di
vetri per finestre, auto, bulbi di lampadine

Si tratta di vetro poco resistente al calore
e agli sbalzi termici.



Vetri con Piombo

Temperatura di lavorazione bassa

alto indice di rifrazione brillanti (cristalli)

schermi per radiazioni (reparti di radiologia)



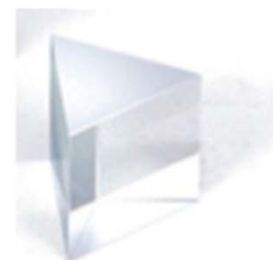
Vetri borosilicati (Pyrex, Duran)

Eccellenti doti di resistenza agli sbalzi termici

elevata resistenza chimica (vetri neutri)

alta resistività elettrica

Vetreia da laboratorio, termometri, attrezzatura per l'industria chimico-farmaceutica, isolanti elettrici, stoviglie da forno



Vetri di sicurezza

Esistono norme severe per guidare il progettista a scegliere fra i vari tipi di vetro

Possibili azioni agenti sulle lastre di vetro:

- Carichi dinamici (vento, pressione della folla)

- Carichi statici (peso proprio, neve, pressione idrostatica)

- Carichi accidentali (grandine, vibrazioni, torsioni, azioni sismiche)

- Urto da corpo molle

- Urto da corpo duro

- Urto da proiettile

Vetri di sicurezza:

- Vetri armati (o retinati)

- Vetri temprati

- Vetri stratificati o laminati

Vetri armati o retinati

Vetri che contengono incorporata una rete metallica

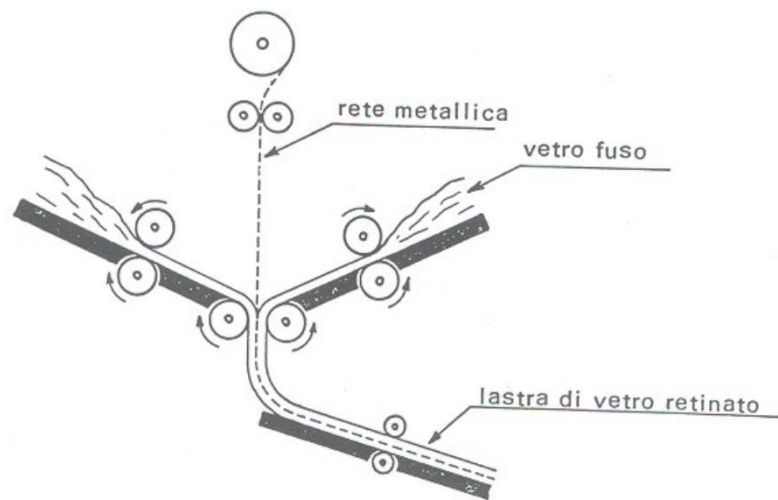
Non migliora la resistenza meccanica, ma serve a RITARDARE LA PROPAGAZIONE DELLE FIAMME in caso di incendio
se il vetro rammollisce o si rompe, la rete metallica lo tiene in posizione per un certo periodo

Vetro con prestazione antincendio: questi prodotti godono di classificazione R. E ovvero sono stabili al Fuoco (resistenza meccanica), tengono alla fiamma e non emettono gas infiammabili

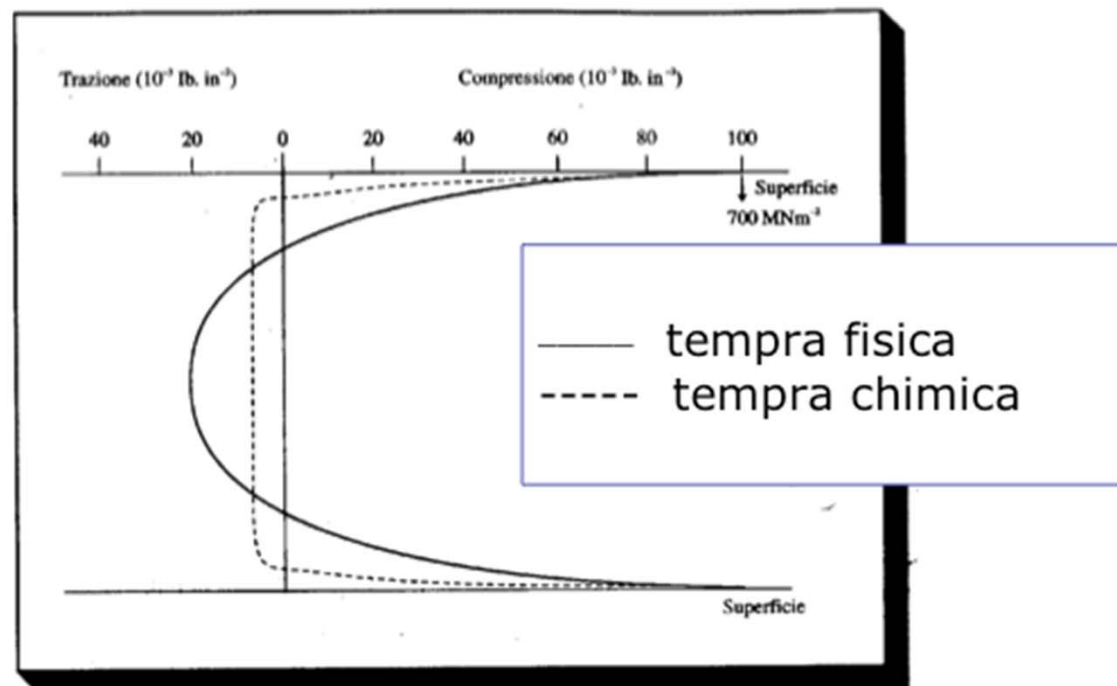
Queste lastre infatti NON ESPLODONO AL CONTATTO CON LA FIAMMA per l'azione diffondente della rete metallica

distribuendo anche all'interno il gradiente termico, provoca un lento e progressivo **rammollimento della lastra** ritardando il formarsi di brecce quando il vetro incomincia a rammollirsi

Vetri armati o retinati



Vetri temprati

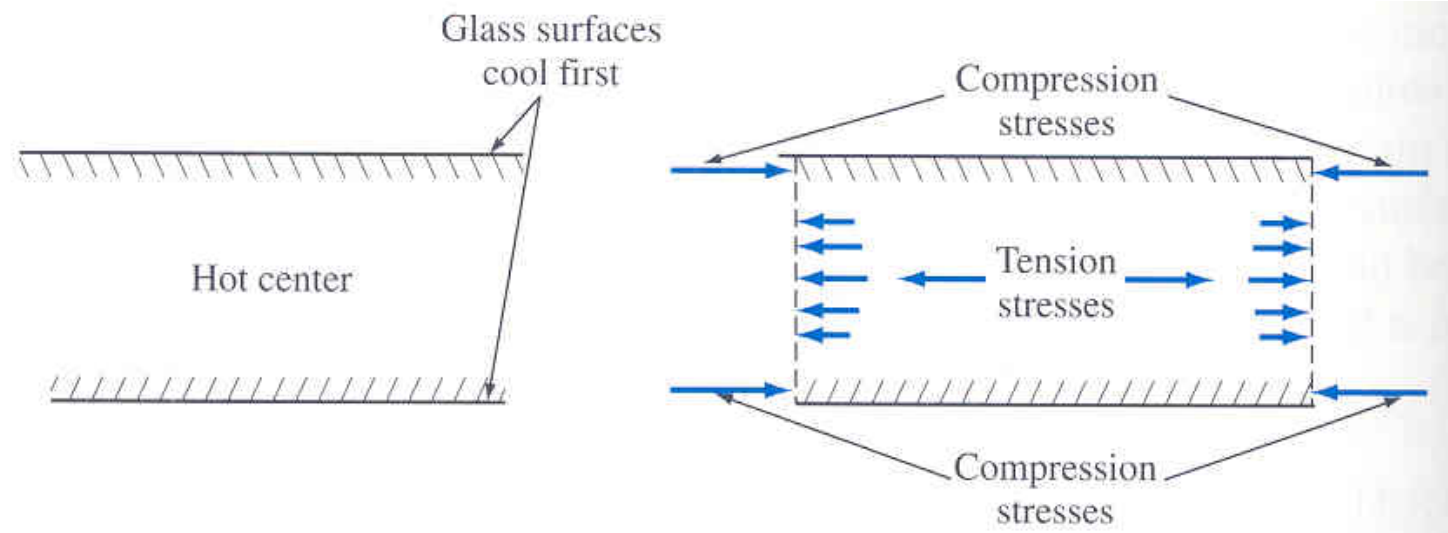


Tempra fisica

Il vetro viene riscaldato quasi fino al punto di “fusione” e poi raffreddato rapidamente

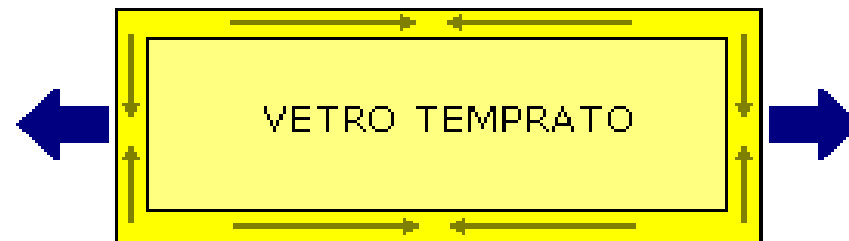
La superficie raffredda prima e si contrae

Quando l'interno si raffredda e si contrae, si creano sforzi di trazione all'interno del vetro e sforzi di compressione sulla superficie



Tempra termica nel vetro

Vetri nei quali vengono prodotte tensioni di **compressione** sulla superficie, tramite raffreddamento più rapido della superficie rispetto al centro



I vetri temprati hanno resistenze a flessione 5 volte superiori a quelle dei vetri normali (fino a 200 MPa contro i 40 MPa).

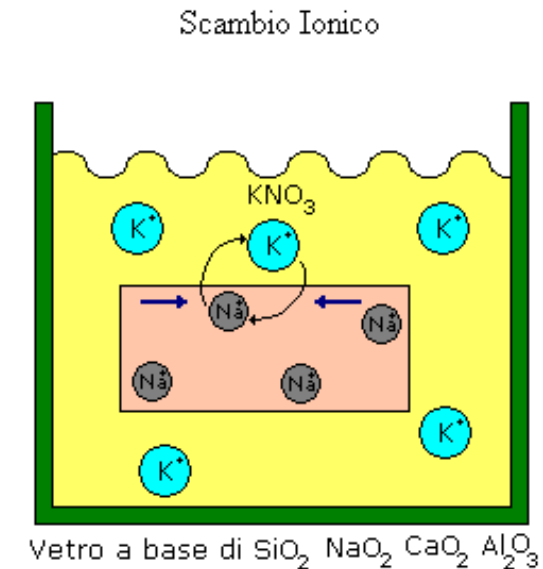
Tempra chimica del vetro

La tempra chimica avviene per **scambio ionico**:

vetri contenenti Na^+ scambiano ioni K^+ provenienti da KNO_3 fuso

raggio ionico del K^+ è maggiore del Na^+ si originano tensioni di compressione sulla superficie del vetro

il valore di resistenza alla flessione del vetro sale a circa 800 MPa!!



Tempra chimica di un vetro

Immersione del vetro in un bagno di sali di potassio fusi a circa 350°C

- scambio ionico fra gli ioni sodio superficiali del vetro e gli ioni del bagno (di raggio ionico maggiore)

- dilatazione in campo elastico della parte superficiale del pezzo, contrastata dalla parte interna

- parte esterna in compressione e parte interna in trazione

Compressione elevata (fino a 800MPa), ma spessore ridotto (100 μm), quindi non vengono migliorate le caratteristiche di frattura

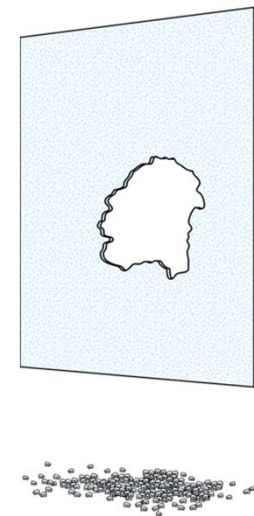
- produzione industriale di lenti

Vetri di sicurezza: vetri temprati

$R_{\text{flessione}} = 200 \text{ MPa}$ (5 volte maggiore di un vetro semplice)

Elevata resistenza agli sbalzi termici

Energia elastica immagazzinata nel vetro per questo stato tensionale viene convertita in energia superficiale al momento della rottura, quindi si avranno frammenti minuti e meno taglienti.



Vetri stratificati

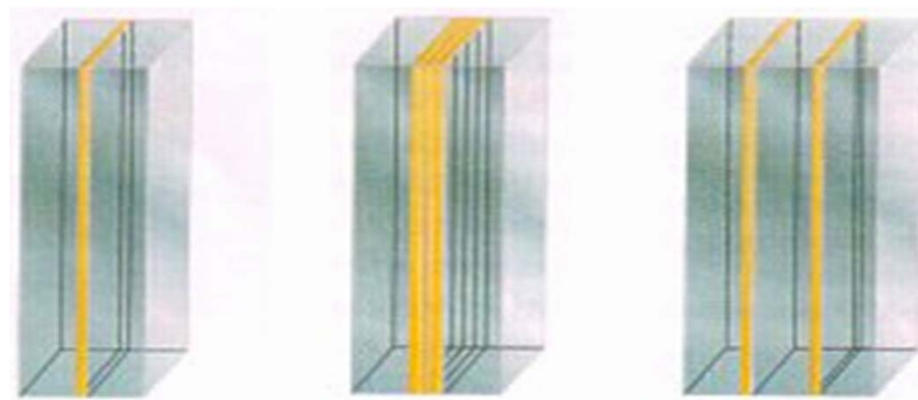
Sono i vetri di sicurezza di maggiore impiego.

Si ottengono dall'unione per riscaldamento e pressatura in autoclave di almeno due lastre di vetro con uno strato di materiale trasparente interposto (foglio di materiale plastico, polivinilbutirrale $\sigma = 20 \text{ MPa}$, $\varepsilon = 400\%$).

Elevata resistenza agli urti

L'eventuale rottura è localizzata e i pezzi di vetro formati rimangono aderenti alla plastica

Migliori proprietà di isolamento termico e acustico







vetro retinato a maglia grande e in basso vetro stratificato
ritardatore di effrazioni

Vetri Stratificati (EN 12337)

Sicurezza, isolamento acustico,
termico o funzione ornamentale

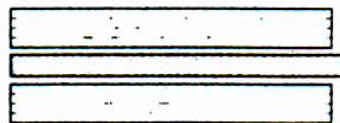
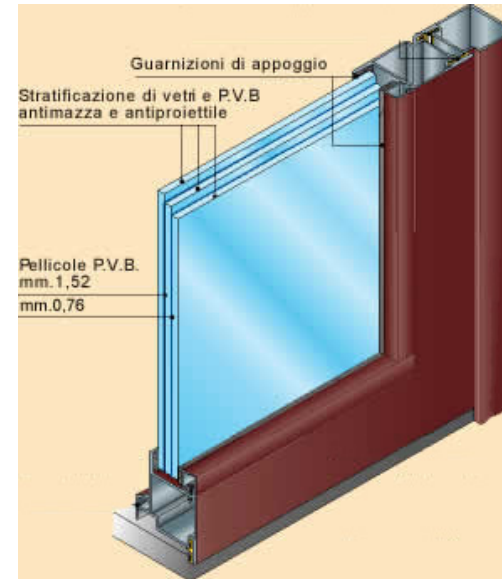
In caso di rottura i frammenti
rimangono adesi al film

USI

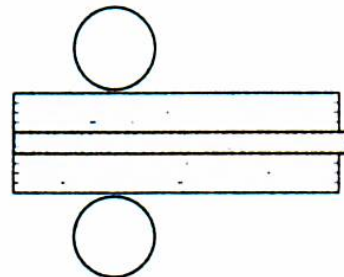
Balaustre

Pavimenti

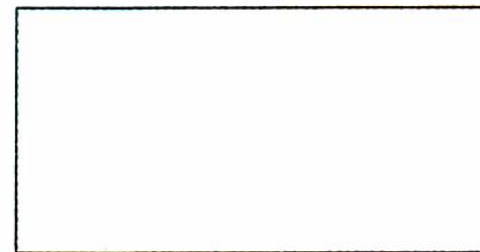
scale in vetro



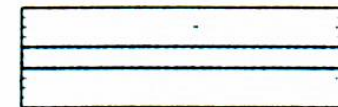
Assemblaggio a strati
di lastre e foglio di PVB



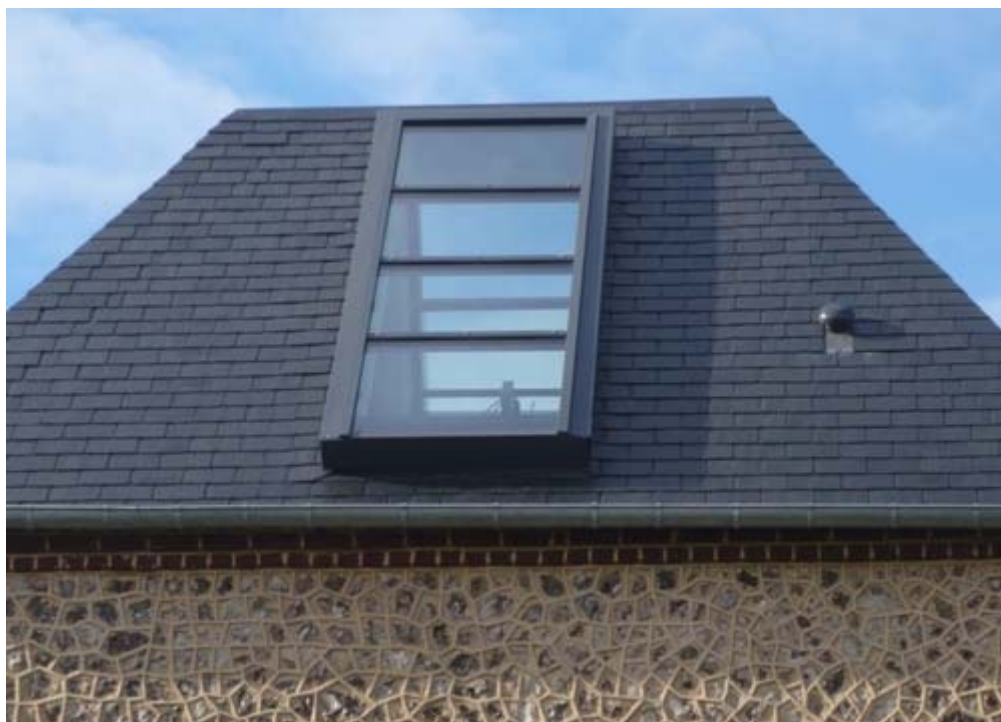
Pressione



Autoclave



Vetro stratificato
di sicurezza finito



Vetrata isolante di sicurezza a isolamento termico rinforzato composta da 2 facce in vetro stratificato; la faccia esterna è autopulente e la faccia interna è un basso emissivo

Classificazione vetri sicurezza

Vetri per la sicurezza semplice: sia temprati che stratificati

Vetri antivandalismo: multistrato (stratificati multipli)

Vetri anticrimine: multistrato (stratificati multipli)

Vetri antiproiettile: massimo della protezione.

Lo spessore della lastra può raggiungere i 40 mm (90 kg/m²)

Struttura stratificata: la forza d'urto viene progressivamente ridotta per attrito con gli strati di vetro.