

Materiali per il Design della moda

Lezione 11. I vetri

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

Vetro

- 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

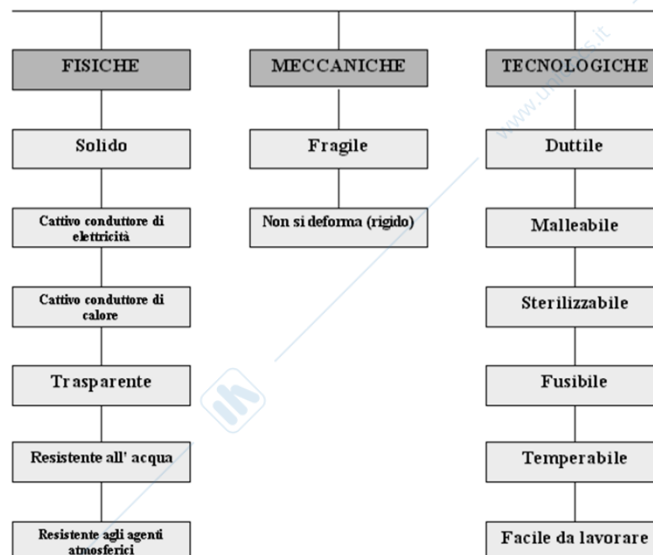
Vetri - Composizione

- Aggiunti rottami di vetro (25-40%) per facilitare la fusione, per ragioni economiche e ai fini di rendere il prodotto più sostenibile

Vetri comuni - composizione

Coef.:	Vetro piano (float)	Vetro per contasfidi	Vetro per usi domestici (boemia)	Cristallo al Pb	Vetro per illumin. (opale)	Vetro per industria chimica	Vetro per ottica (crown)	Fibre tessili	Vetri Tv (Pb-Ba)
SiO ₂	72,8	73,3	74	60	60	67,5	80,4	63,2	69,68
Al ₂ O ₃	0,7	1,5	0,16	0,06	0,06	5,0	2,27	14,2	2,5 - 4
Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	0,09	0,04	0,02	0,02	0,02	0,16	0,03	0,34	0,03 - 0,08
CaO	8,4	9,8	5,3	-	-	9,4	-	22,4	0 - 3,4
MgO	3,41	0,34	-	-	-	-	-	0,42	0 - 1,4
PbO	-	-	2,8	24,0	24,0	-	-	-	0 - 15
Na ₂ O	13,7	14,2	5,0	1,0	1,0	13,4	3,8	0,24	7,95
K ₂ O	0,2	0,4	12,7	14,9	14,9	1,8	0,4	0,21	4 - 8
SO ₃	0,3	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-
F	-	-	-	-	-	4,0	-	-	0 - 0,4
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	4 - 20	0,55	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14

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 riscaldamenti 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

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

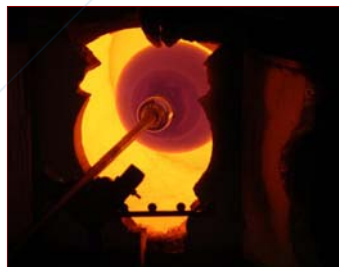
- ↳ la più importante è la trasparenza. E' dovuta essenzialmente al basso coefficiente di assorbimento delle lunghezze d'onda nel visibile

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

- Non presentando un punto di fusione, il vetro viene lavorato in un campo di temperatura in cui sia allo stato plastico (800 -1500 °C)



Lavorazioni artistiche



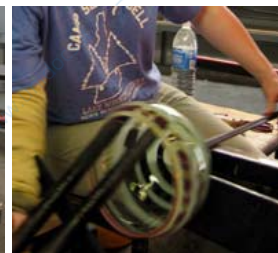
Soffiatura



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



Lavorazione

"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

Lavorazione

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

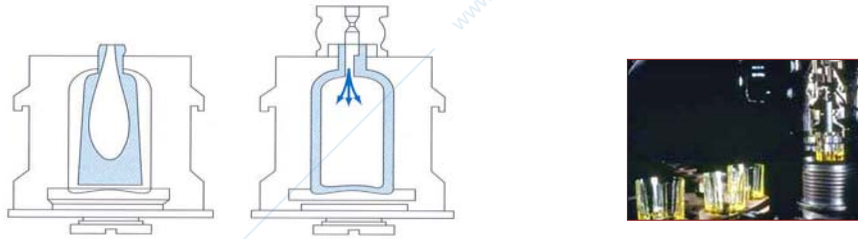
Colata e stampaggio

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)



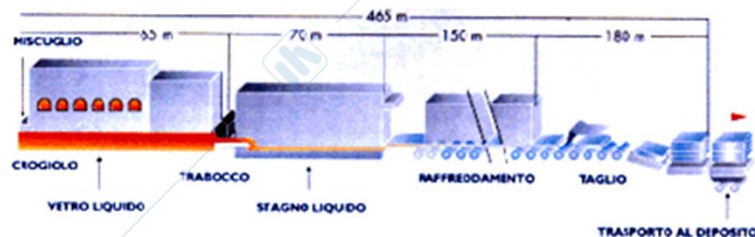
Produzione di lastre piane

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

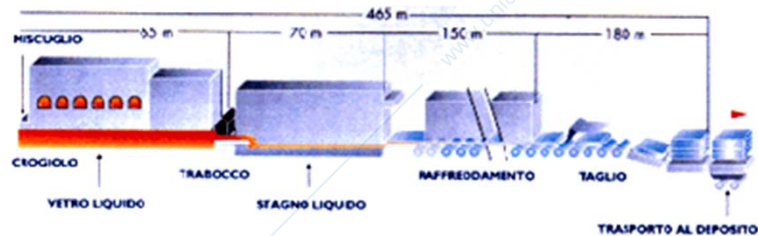


Produzione di lastre piane

Processo float (Pilkington)

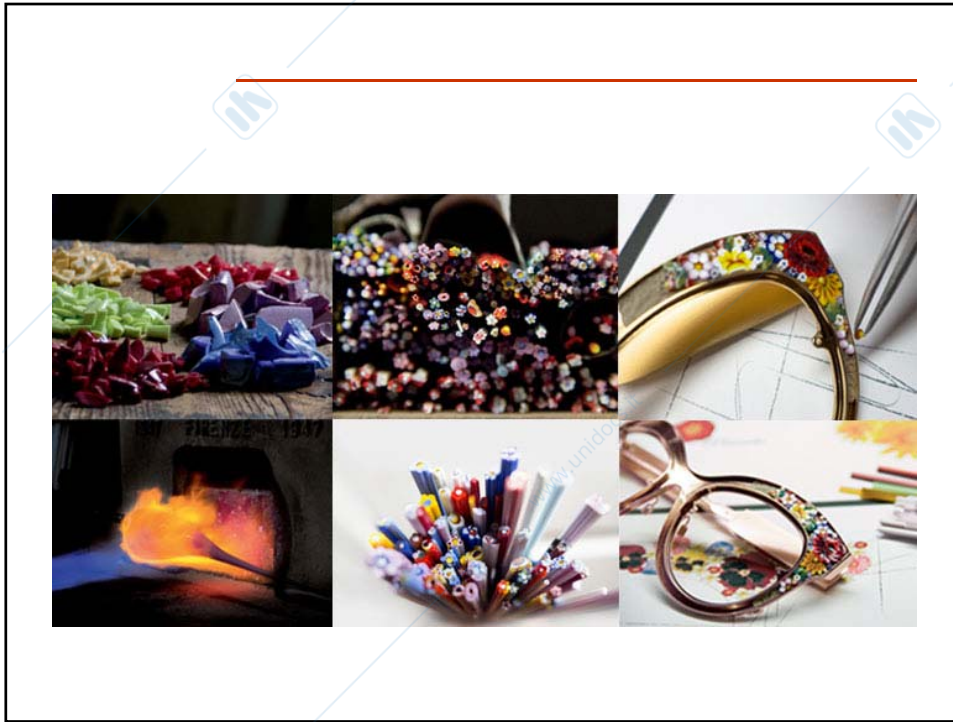
Dopo questa operazione la T è di $\approx 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ed il vetro solido viene sollevato e posto in un tunnel di raffreddamento

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



Dolce and Gabbana Mosaico collection





Murrine



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

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
- schermi per radiazioni (reparti di radiologia)
- Vetri borosilicati (Pyrex, Duran)
 - Eccellenti doti di resistenza agli sbalzi termici (α basso)
 - elevata resistenza chimica (vetri neutri)
 - alta resistività elettrica
 - Vetreria da laboratorio, termometri, attrezzatura per l'industria chimico-farmaceutica, isolanti elettrici, stoviglie da forno



Proprietà dei principali tipi di vetri

TABELLA 9.3 Proprietà dei principali tipi di vetro.

	Punto di tensione	Punto di ricottura	Punto di rammollimento	Punto di lavorazione	Densità	Coefficiente di dilatazione	Conducibilità termica	Indice di rifrazione
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)		(°C ⁻¹ ×10 ⁻⁶) (0÷300 °C)	(W/m ² K) (a 0 °C)	
Vetro di silice	990	1050	1580		2,20	5,5	1,46	1,459
96% di silice (Vycor)	820	910	1500		2,18	8,0	1,25	1,46
Vetro da lastre								
(sodico-calcico)	510	553	735	1070	2,47	87	1,0	1,51
Silicato di piombo	395	435	625	985	2,86	93	0,7	1,54
Silicato ad alto piombo	395	430	580	820	4,28	91		1,97
Borosilicato	515	565	820	1245	2,23	33	1,17	1,47
Allumino-boro-silicato	540	580	795		2,36	49		
Alluminosilicato	670	715	915	1190	2,53	42		1,53
	Modulo di Young	Rapporto di Poisson	Durezza Vickers	Resistenza media a trazione	Log₁₀ della resistività di volume	Costante dielettrica	Tangente dell'angolo di perdita (fattore di dissipazione)	
	(GN/m ²)		(carico=100 g)	(MN/m ²)	(ohm-cm) 25 °C 250 °C		(a 1 MHz, 20 °C)	
Vetro di silice	72	0,17	700÷750	100÷120	11,8	3,8	0,00004	
96% di silice (Vycor)	69	0,17	650	100÷120	17	9,7	0,0005	
Vetro da lastre								
(sodico-calcico)	69	0,21	540÷580	80÷100	12	6,5÷7,0	7,0÷7,6	0,004÷0,011
Silicato di piombo	61	0,21	420÷470		8,9	6,7	0,0016	
Silicato ad alto piombo	52	0,23	290÷340		11,8	9,5	0,0009	
Borosilicato	62	0,20	550÷600	80÷100	15	8,1	4,6	0,005
Allumino-boro-silicato					6,9	5,6	0,01	
Alluminosilicato	88	0,25	580÷630		11,4	7,2	0,0038	

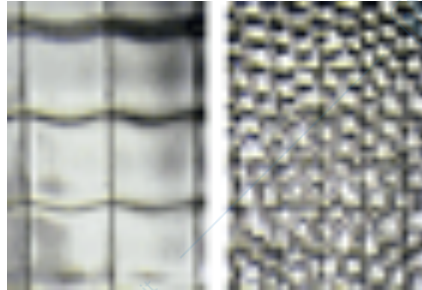
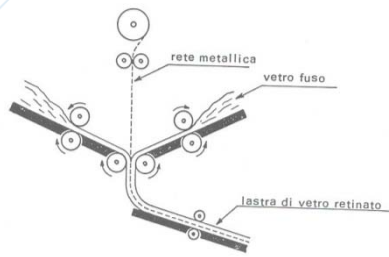
Vetri di sicurezza

- 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

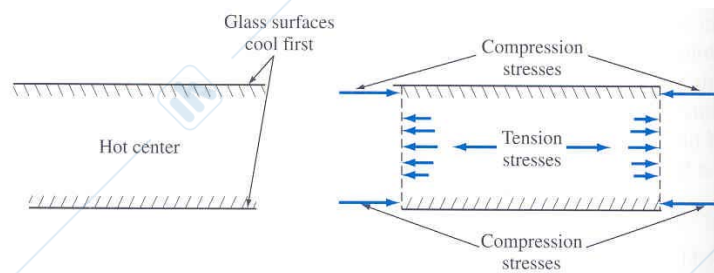
- Vetri che contengono incorporata una rete metallica
 - ↳ Non migliora la resistenza meccanica, ma serve a RITARDARE LA PROPAGAZIONE DELLE FIAMME in caso di incendio
 - ↳ se il vetro rammollisce o si rompe, la rete metallica lo tiene in posizione per un certo periodo
- Vetro con prestazione antincendio: 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 breccie quando il vetro incomincia a rammollirsi

Vetri armati o retinati



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



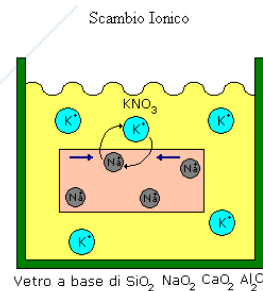
I vetri temprati hanno resistenze a flessione 5 volte superiori a quelle dei vetri normali (fino a 200 MPa contro i 40 MPa).
Anche la RST raddoppia.

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

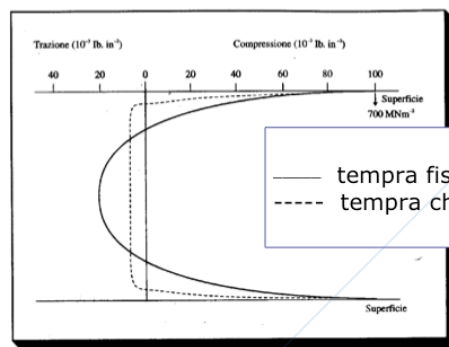
→ il valore di resistenza alla flessione del vetro sale a circa 800 MPa!!



Tempra chimica di un vetro

- Immersione del vetro in un bagno di sali potassici 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 temprati

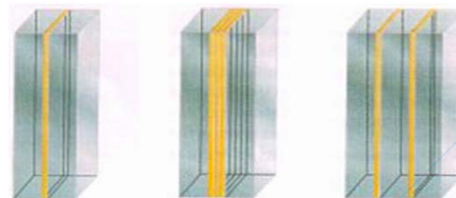


Vetri di sicurezza: vetri temprati

- $R_{\text{flessione}} = 200 \text{ MPa}$ (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.

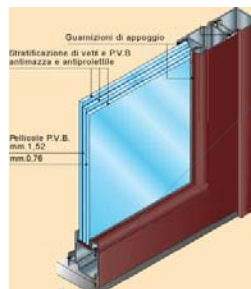
Vetri stratificati

- 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

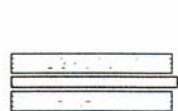


Vetri Stratificati (EN 12337)

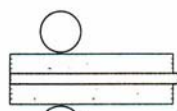
- Sicurezza, isolamento acustico, termico o funzione ornamentale
 - In caso di rottura i frammenti rimangono adesi al film



- USI
 - Balaustre
 - Pavimenti
 - scale in vetro



Assemblaggio a strati di lastre e foglio di PVB



Pressione



Autoclave



Vetro stratificato di sicurezza finito