

*Laurea triennale in Disegno industriale*

*Materiali e Tecnologie – Modulo Proprietà dei Materiali*

# MATERIALI CERAMICI E VETRI



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Ing. Francesco Marra**

*A.A. 2018/2019*

# I vetri

**Trasparenza**

**Igienicità**

**Riciclabilità**

**Basso costo**

**Fragilità**

**Bassa resistenza a trazione**

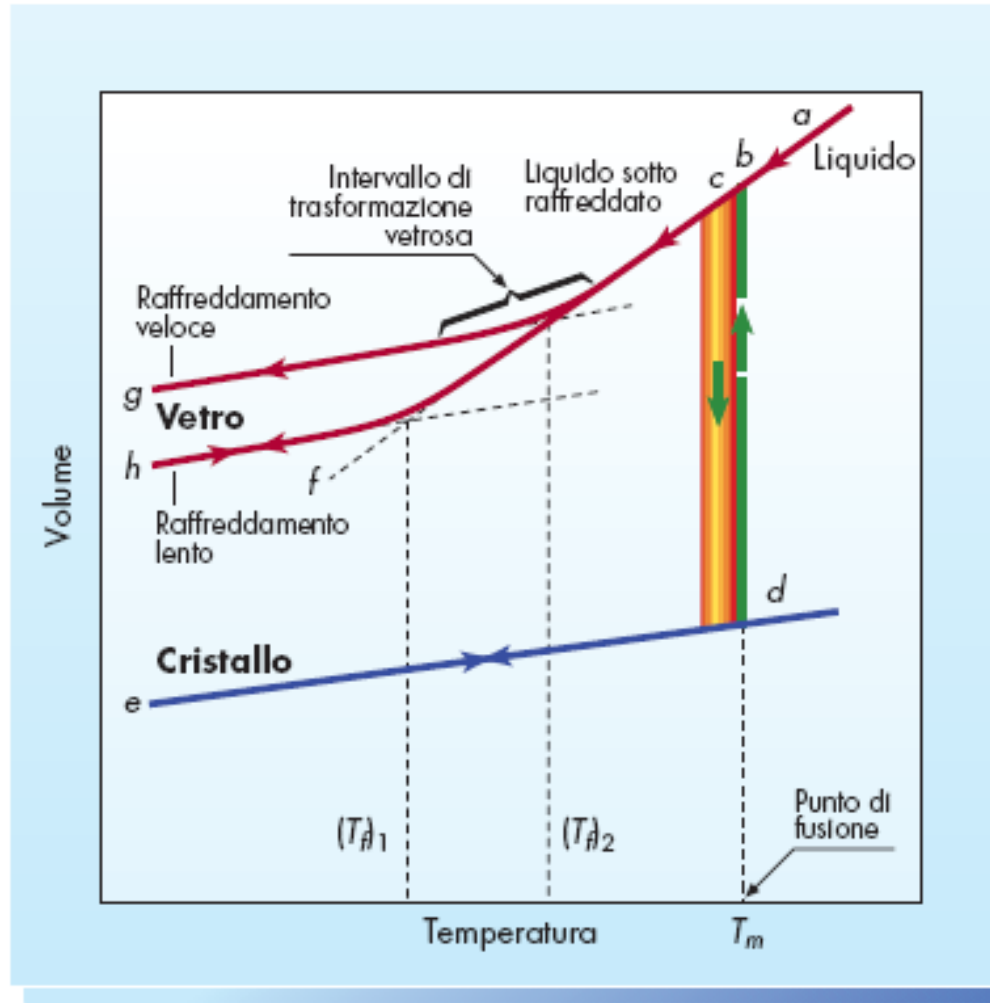
**Bassa resistenza agli urti**



# Il vetro

**Il vetro è un solido che non possiede ordine atomico a lungo raggio e che, al riscaldamento, rammollisce progressivamente fino a giungere allo stato fuso**

# Vetro\_transizione vetrosa



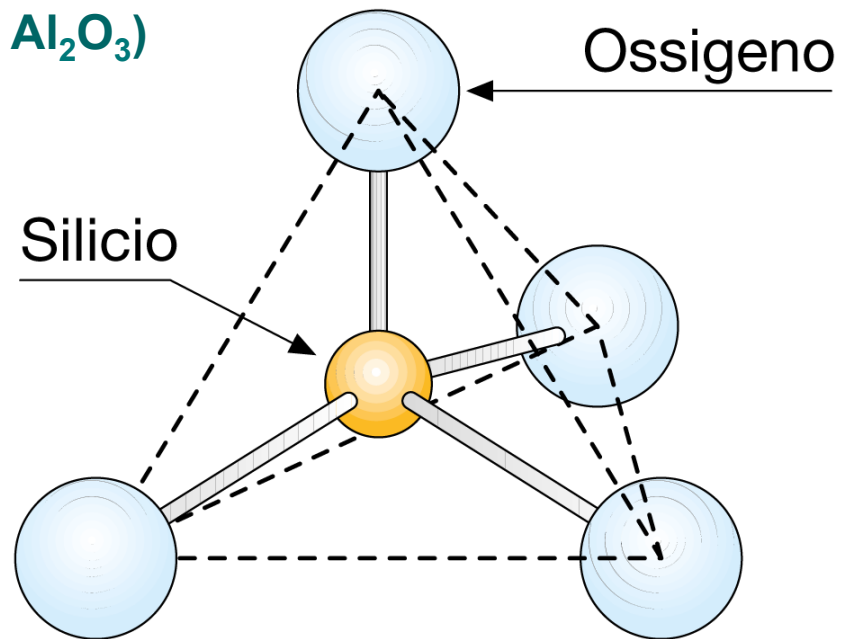
# Materie prime

**Vetrificanti (formatori)**

**sabbia silicea ( $\text{SiO}_2$ )**

**anidride borica e fosforica (anche  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )**

**Possono assumere  
struttura vetrosa al  
raffreddamento**



# Materie prime

## Vetrificanti (formatori)

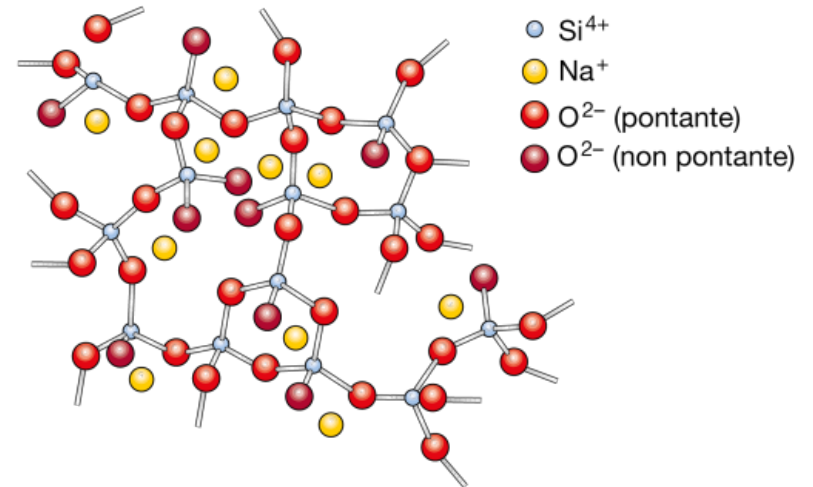
sabbia silicea ( $\text{SiO}_2$ )

anidride borica e fosforica (anche  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

## Fondenti (modificatori)

ossidi di metalli alcalini ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  o  $\text{CaO}$ )

**Abbassano il punto di rammollimento  
e rendono alcuni O non pontanti**





# Materie prime

## Vetrificanti

sabbia silicea ( $\text{SiO}_2$ )

anidride borica e fosforica (anche  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

## Fondenti

ossidi di metalli alcalini ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  o  $\text{CaO}$ )

## Additivi

stabilizzanti, coloranti, affinanti

# Tipi di vetro\_composizione

Composizione	Tipi di vetro			
	sodico-calcici	di silice	al borosilicato	al piombo
SiO <sub>2</sub>	65-73	99,5	80,5	51-56
Na <sub>2</sub> O	8-16	–	4	–
CaO	5-18	–	–	–
PbO	–	–	–	30-34
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	13	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-8	–	2	–
K <sub>2</sub> O	–	–	–	12-16
FeO <sub>3</sub>	–	–	–	12-16



# Tipi di vetro\_applicazioni

**Tabella 9.2** Caratteristiche e applicazioni di alcuni vetri.

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

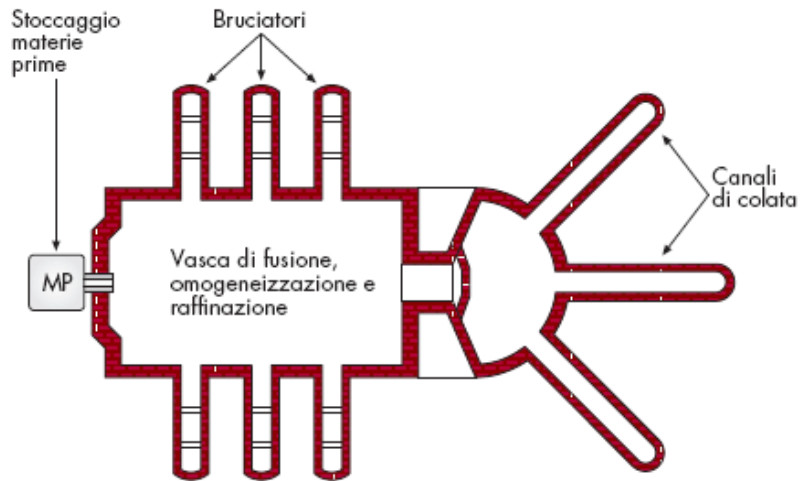
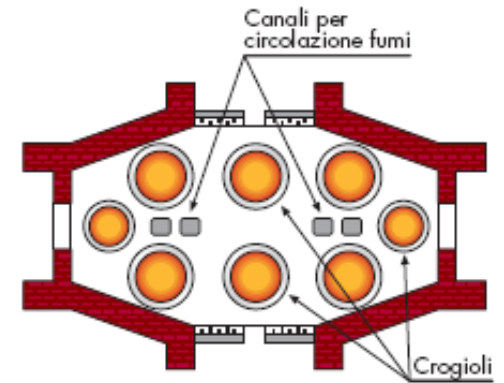
# Processo produttivo

- **Macinazione, dosaggio e miscelazione**
- **Fusione**
- **Affinazione e omogeneizzazione**
- **Raffreddamento**
- **Formatura**
- **Ricottura**
- **Tempera**

# Processo produttivo

## Fusione

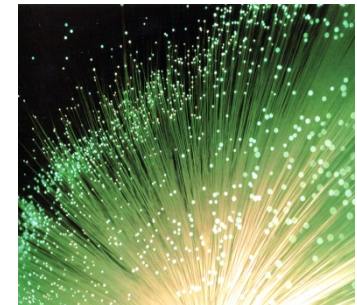
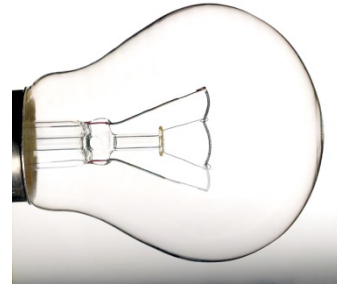
### Forni per la produzione del vetro



# Processo produttivo

## Formatura

- soffiatura
- pressatura
- galleggiamento
- filatura



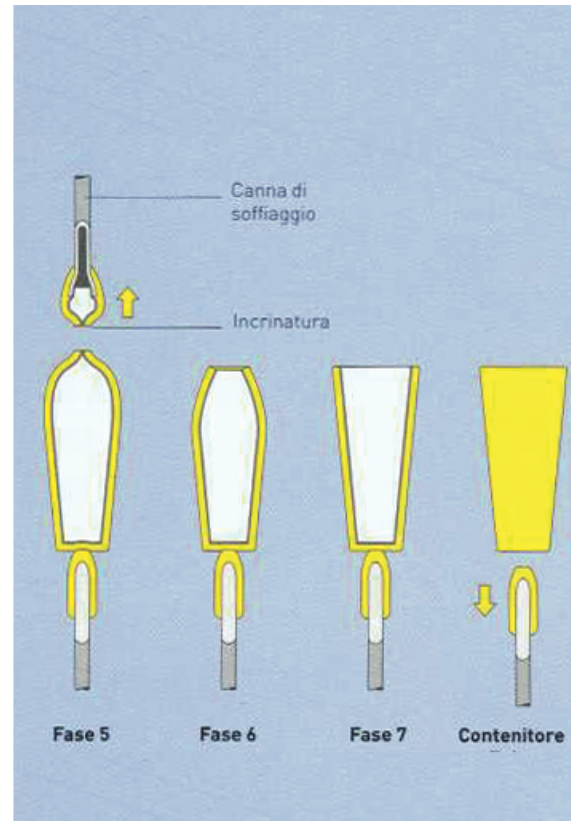
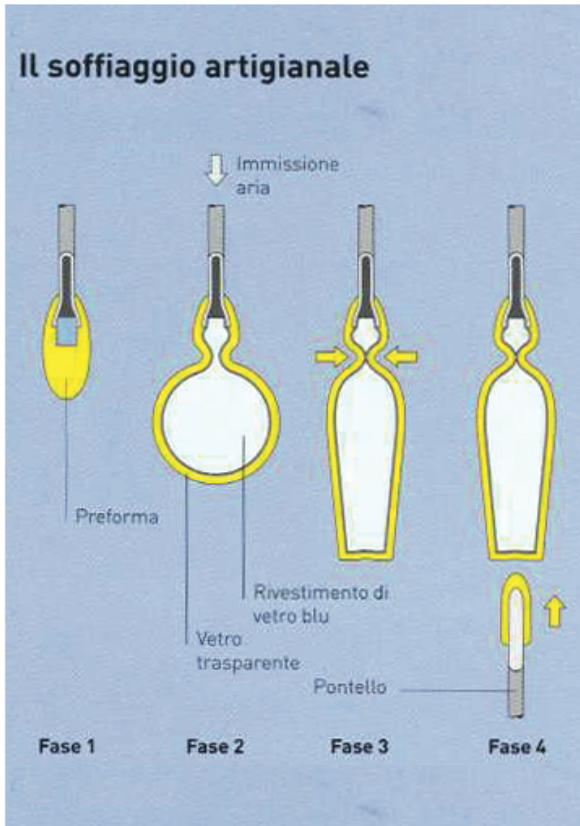
# Processo produttivo

**Formatura**

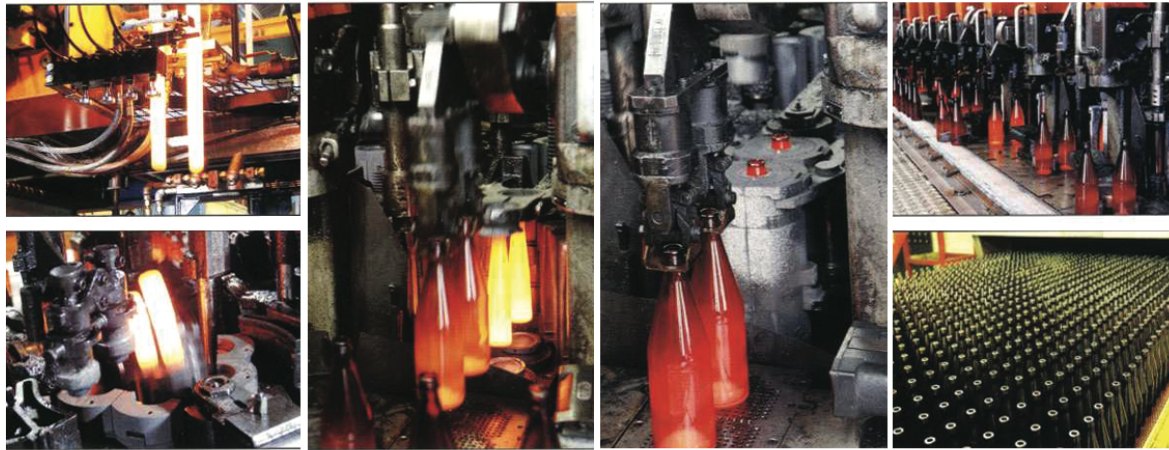
**soffiatura**



# Processo produttivo - soffiatura

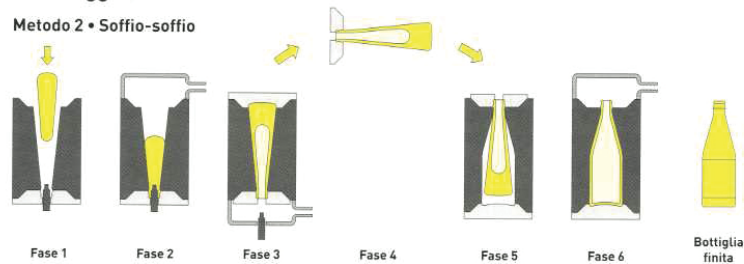


# Processo produttivo - soffiatura

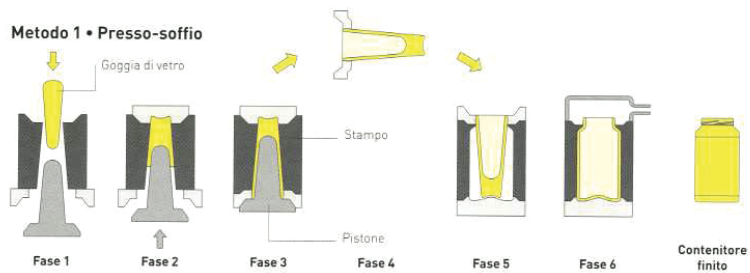


## Il soffiaggio meccanico

### Metodo 2 • Soffio-soffio



### Metodo 1 • Presso-soffio



# Processo produttivo

**Formatura**

**pressatura**



**il fuso, mediante un punzone, prende la forma dello stampo e indurisce per il contatto con lo stampo stesso.**

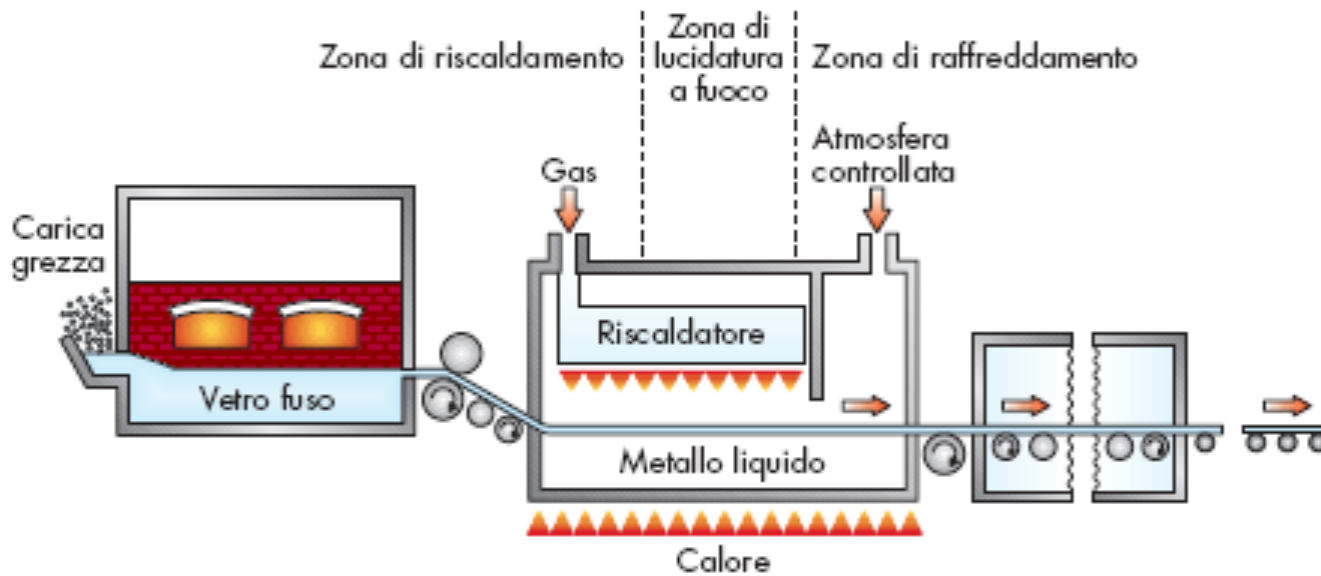
**I manufatti prodotti con tale tecnica non presentano cambi di sezione bruschi (piatti, tazze).**



# Processo produttivo

## Formatura

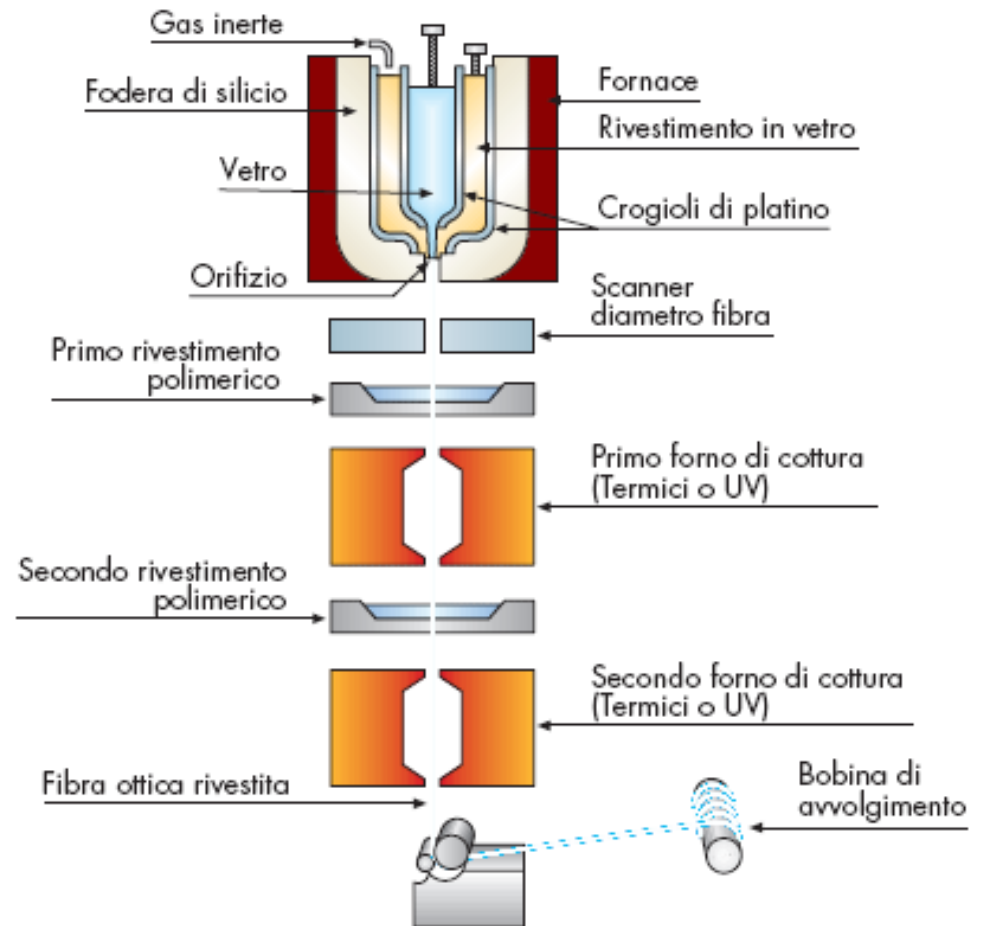
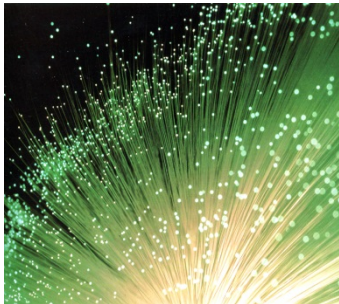
### galleggiamento



# Processo produttivo

## Formatura

### filatura (fibre di vetro)



# Processo produttivo

## Ricottura

eliminazione delle tensioni interne

riscaldati 600°C e raffreddati lentamente a 450°C poi a  $T_{amb}$

## Tempera

introduzione di un stato di sollecitazione superficiale (compressione)

- tempera fisica
- tempera chimica (scambio  $Na^+ - K^+$ )



# Proprietà dei vetri

## Proprietà meccaniche

**solido quasi perfettamente elastico**

**poco resistente a trazione**

**fragile**

## Proprietà ottiche

**trasparente**

## Proprietà termiche

**eccellente isolante termico ed elettrico**

## Proprietà chimiche

**molto resistente a molti ambienti corrosivi**

# Proprietà dei vetri

## Proprietà meccaniche

**Comportamento elastico fino a rottura (assenza di deformazioni plastiche) e fragile.**

**Resistenza a trazione: sensibilità ai difetti**

**teorica = 10-30 GPa**

**pratica = 30-120 MPa**

**Resistenza a compressione: 600-1200 MPa**

**Vetri comuni  $E = 70$  GPa**

# Vetri di sicurezza

## Vetri armati

rete metallica

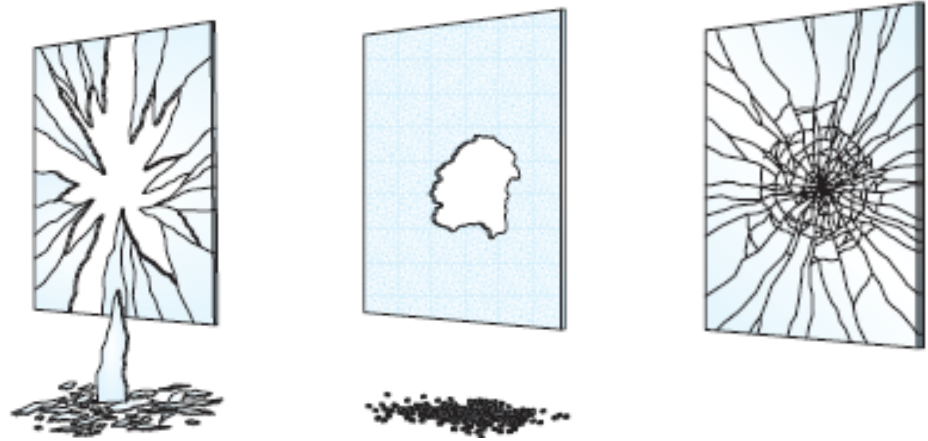
## Vetri temperati

tempra fisica

tempra chimica

## Vetri stratificati

lastra di materiale plastico



# Proprietà dei vetri

## Proprietà chimiche

**buona resistenza agli acidi (tranne HF)**

**scarsa resistenza alle basi**

# Proprietà dei vetri

## Proprietà termiche

pessimi conduttori

conducibilità termica molto bassa

dilatazione termica

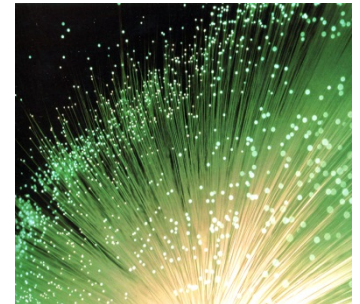
$$\sigma = \varepsilon E = E \alpha \Delta T$$

Tipi di vetro	Calore specifico (J/kg K)	Coefficiente di dilatazione (°C)	Resistenza shock (°C)	Conducibilità a 0 °C (W/m °C)
Sodico-calcici	990	$8,7 \cdot 10^{-6}$	50	1
Al borosilicato	800	$3,3 \cdot 10^{-6}$	150	1,17
Di silice	–	$5,5 \cdot 10^{-6}$	1000	1,45



# Proprietà dei vetri

**Proprietà ottiche**  
**colore dei vetri**  
**vetri fotocromatici**  
**vetri a cristalli liquidi**  
**fibre ottiche**



# Proprietà dei vetri

## Colore dei vetri

$\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$

verde

$\text{S}^{2-}$ + atm. Rid.

ambra (bottiglie di birra)

$\text{Cu}^{2+}$

blu pallido

$\text{Co}^{2+}$

rosa

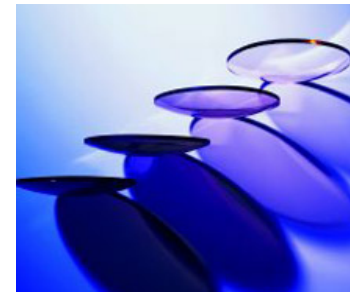
$\text{Co}^{3+}$

blu intenso

# Proprietà dei vetri

## Vetri fotocromici

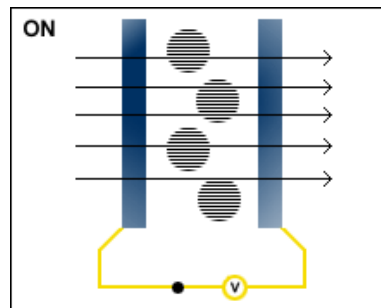
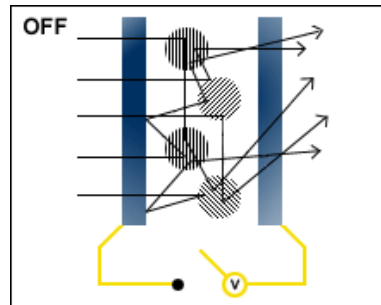
da chiaro a scuro (radiazione UV)



# Proprietà dei vetri

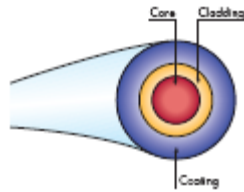
## Vetri a cristalli liquidi

da opaco – trasparente (stimolo elettrico)

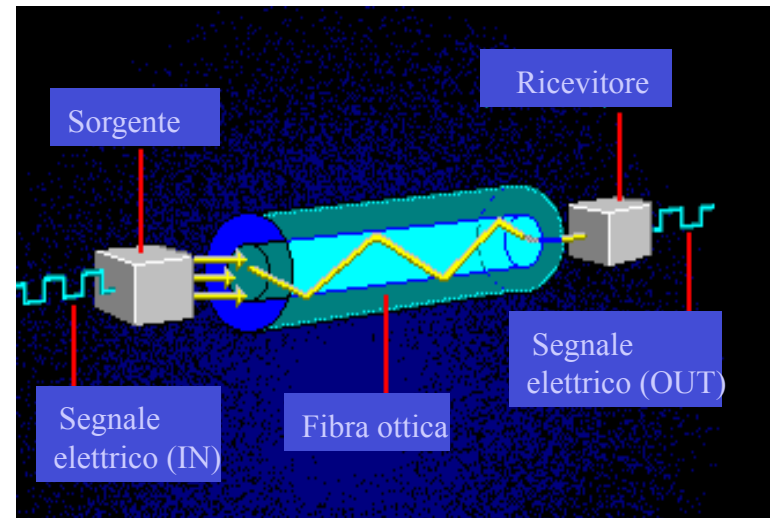
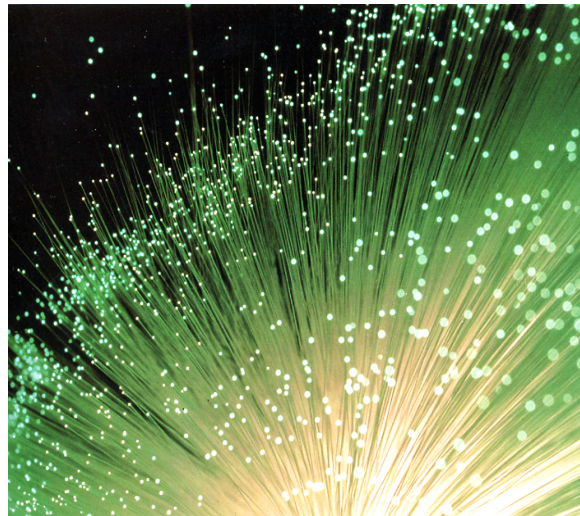
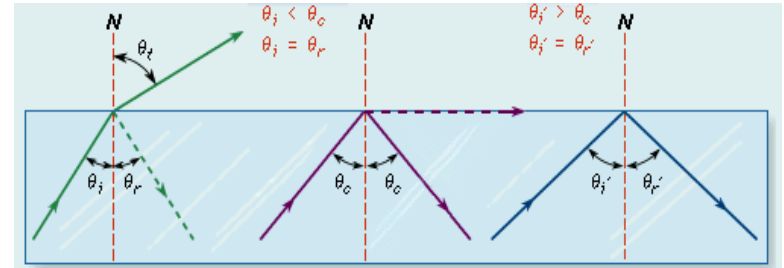


# Proprietà dei vetri

## Fibre ottiche



$$n = \frac{c}{v}$$



# Vetro in architettura

**Isolamento termico**

**vetri assorbenti**

**vetri riflettenti**

**Vetri autopulenti**



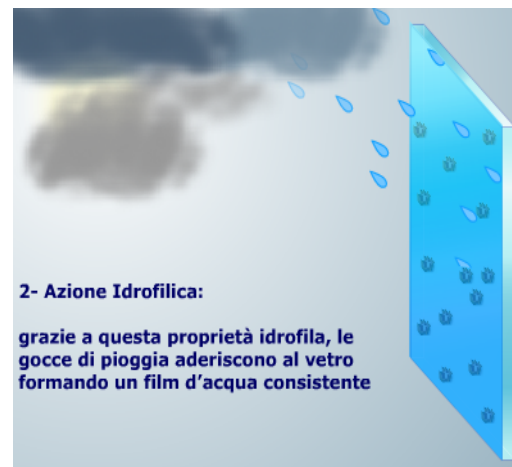
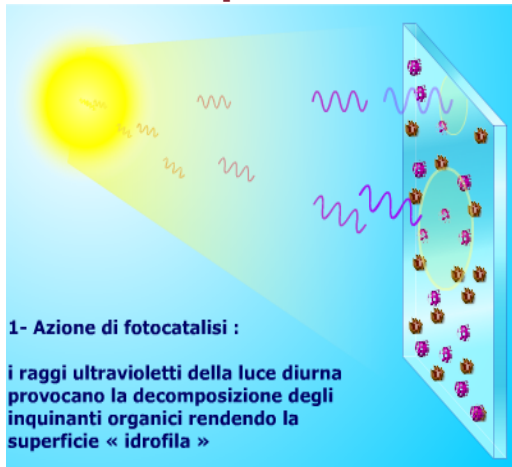
# Vetro in architettura

## Vetri autopulenti (self cleaning glass)

proprietà fotocatalitiche

proprietà superidrofiliche

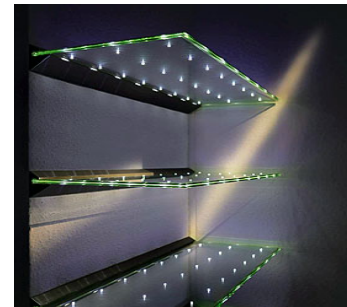
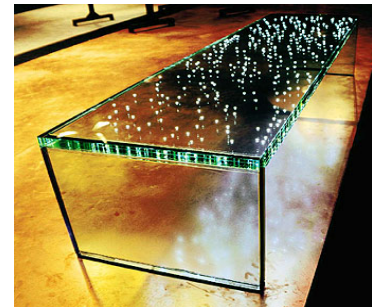
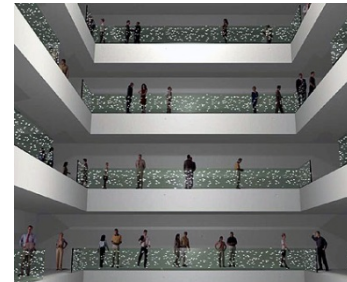
### Strato superficiale di biossido di titanio



# Vetro in architettura

## Vetri (Power Glass)

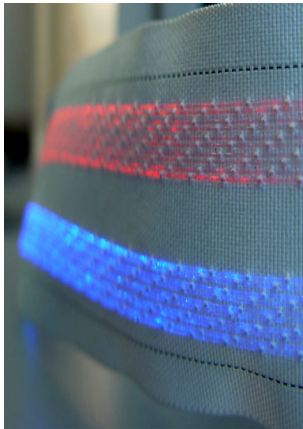
LED non cablati usando uno strato trasparente conduttivo applicato alla superficie del vetro





# Vetro in architettura

## Tessuto che emette luce propria (Luminex)

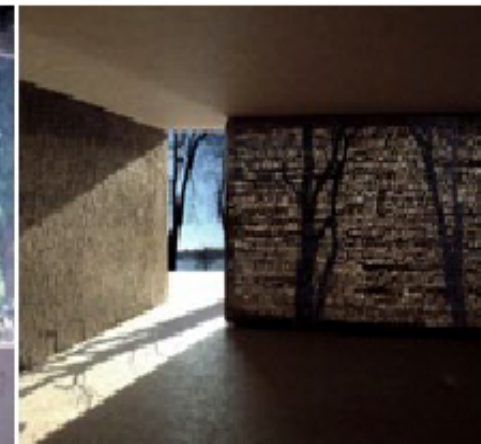
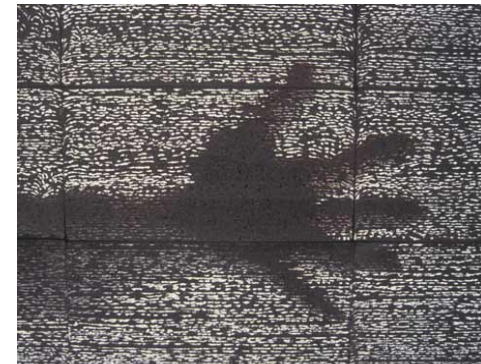


# Vetro in architettura

## Calcestruzzo trasparente (Litracon)

quasi le stesse caratteristiche del calcestruzzo convenzionale

fibre di vetro



# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**Ossidi metallici**

**Struttura cristallina**

**Scarsa conducibilità termica**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**Fragilità**

# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**diamante e grafite**

**Ossidi metallici**

**Struttura cristallina**

**Scarsa conducibilità termica**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**Fragilità**

# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**diamante e grafite**

**Ossidi metallici**

**elementi metallici + C, N, S**

**Struttura cristallina**

**Scarsa conducibilità termica**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**Fragilità**

# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**diamante e grafite**

**Ossidi metallici**

**elementi metallici + C, N, S**

**Struttura cristallina**

**cristallino-vetrosa**

**Scarsa conducibilità termica**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**Fragilità**

# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**diamante e grafite**

**Ossidi metallici**

**elementi metallici + C, N, S**

**Struttura cristallina**

**cristallino-vetrosa**

**Scarsa conducibilità termica**

**diamante**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**Fragilità**

# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**diamante e grafite**

**Ossidi metallici**

**elementi metallici + C, N, S**

**Struttura cristallina**

**cristallino-vetrosa**

**Scarsa conducibilità termica**

**diamante**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**superconduttori**

**Fragilità**



# Materiali ceramici

## IN GENERALE

**Solidi inorganici e nonmetallici**

**diamante e grafite**

**Ossidi metallici**

**elementi metallici + C, N, S**

**Struttura cristallina**

**cristallino-vetrosa**

**Scarsa conducibilità termica**

**diamante**

**Scarsa conducibilità elettrica**

**superconduttori**

**Fragilità**

**zirconia, compositi rinforzati**

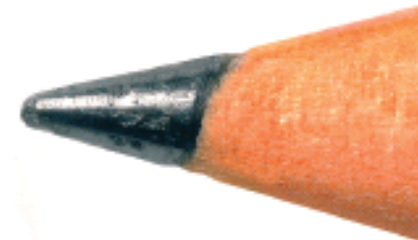
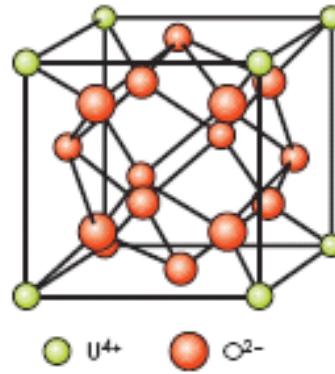
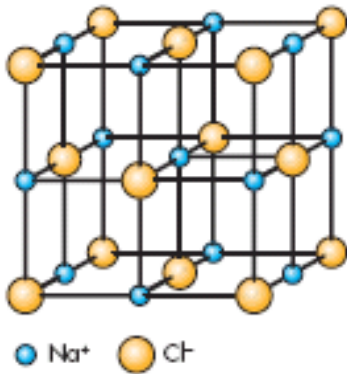
# Legami chimici e struttura

## Legami primari

legame covalente (diamante)

legame ionico

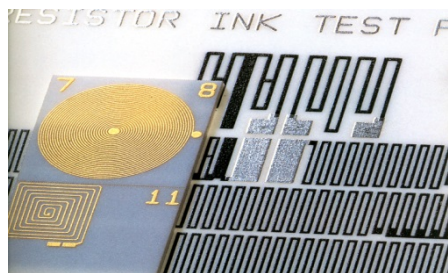
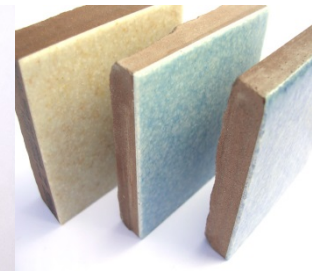
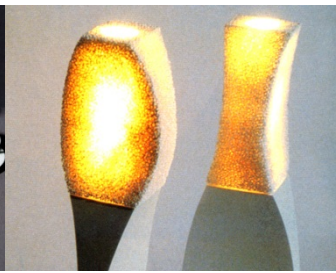
## Legami secondari (grafite)



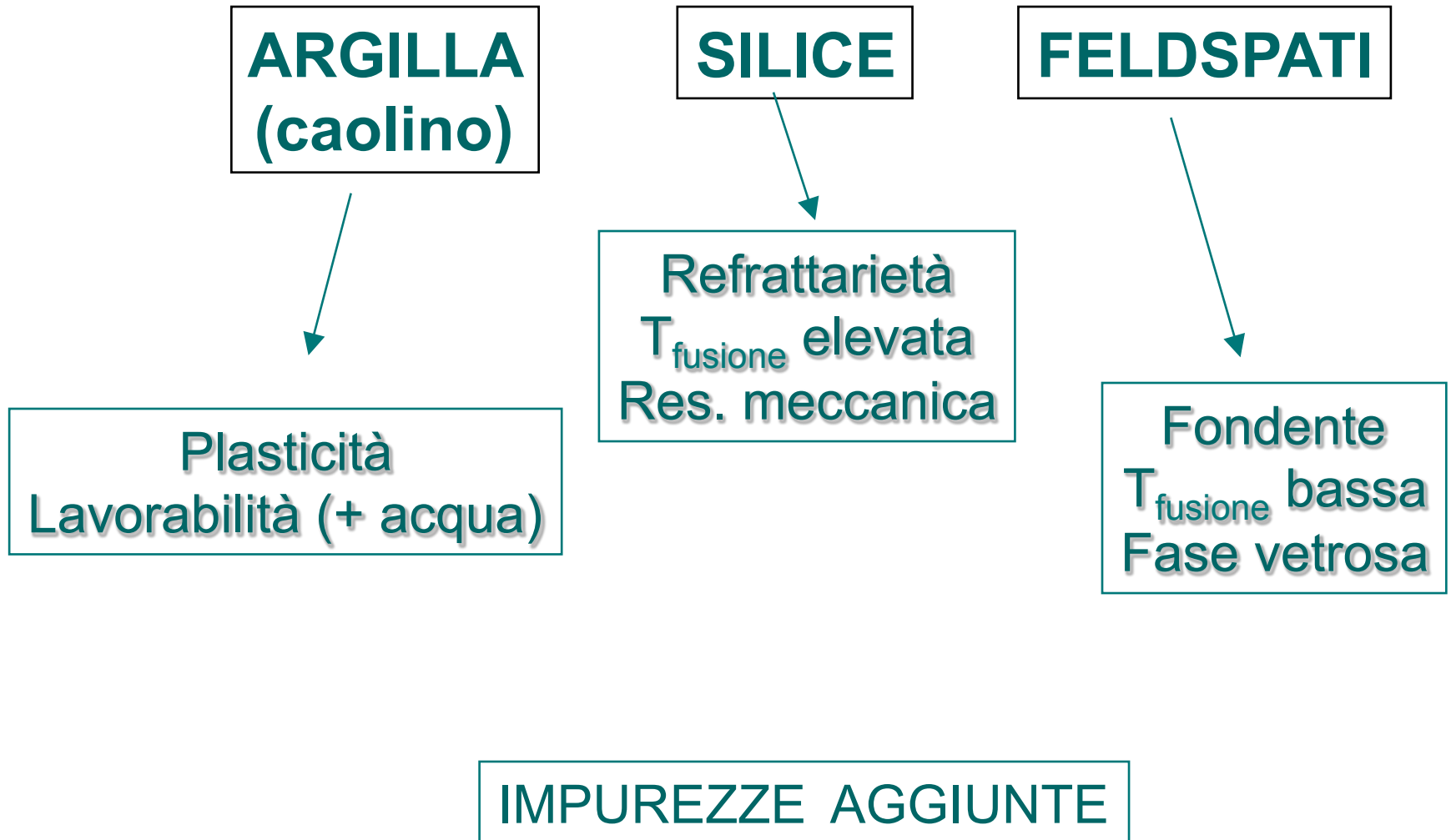
# Materiali ceramici

## Materiali ceramici tradizionali

## Materiali ceramici avanzati



# Materie prime



# Lavorazione dei materiali ceramici

Preparazione del minerale

Ottenimento della miscela

Formatura

Deformazione plastica

Pressatura

Estrusione

Colata a impasto umido

Essiccamento

Cottura

Vetrificazione

Finitura

Rivestimento e decorazione



# Lavorazione dei materiali ceramici

Metodo	(%) Acqua nell'impasto	Esempi di applicazioni
Pressatura	5-7	Piastrelle, stoviglie
Estrusione	15-20	Piastrelle, laterizi
Colaggio	35-40	Sanitari

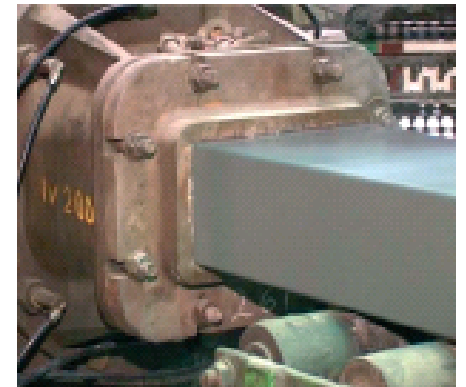
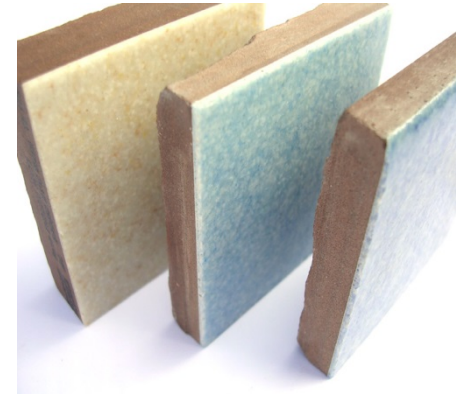
# Lavorazione dei materiali ceramici

**Deformazione plastica**

**Pressatura**

**Estrusione**

**Colata a impasto umido**







# Lavorazione dei materiali ceramici

## Essiccamento e cottura

laterizi e terracotte 900 e 1000 °C

porcellane fino a 1250-1450 °C



La porosità e le caratteristiche meccaniche di un prodotto ceramico

dipendono:

dalla composizione dell'impasto

dalla temperatura di cottura



# Lavorazione dei materiali ceramici

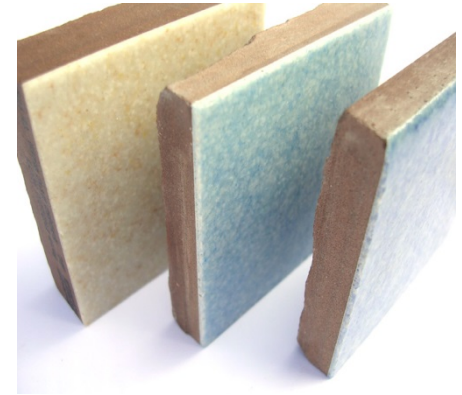
**Rivestimento superficiale**

**Materiale vetroso**

trasparente (vetrina)

opaco (smalto)

- **Bicottura**
- **Monocottura**



# Proprietà dei materiali ceramici

- **densità: 2 e 2,5 g/cm<sup>3</sup>**
- **comportamento puramente elastico**
- **buone caratteristiche di resistenza a compressione**
- **scarse caratteristiche di resistenza a trazione**
- **materiali fragili**
- **ottimi isolanti termici ed elettrici**

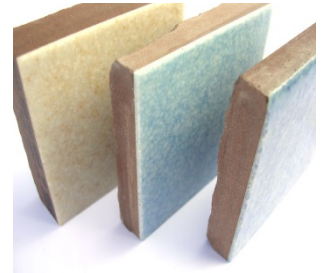
# Prodotti

- **ceramiche bianche**
- **prodotti strutturali a base di argilla**
- **refrattari**
- **abrasivi**
- **cemento**

# Prodotti\_a base di argilla

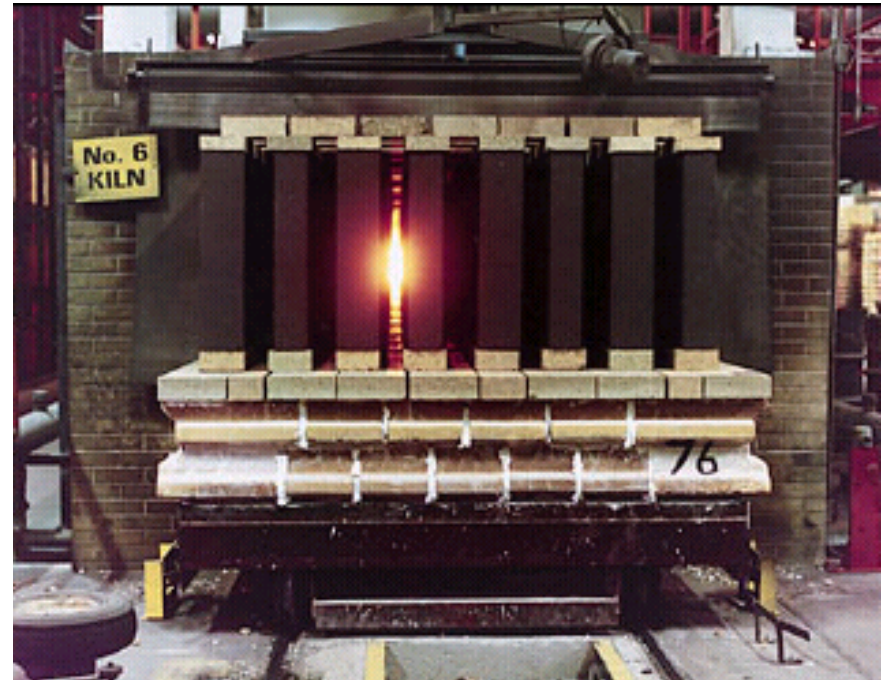
## edilizia

- mattoni per muri e per pavimentazioni
- tegole per tetti e tubi di scarico
- materie prime naturali



# Prodotti\_refrattari

- punto di fusione elevato
- proprietà strutturali a temperature molto elevate





# Abrasivi

Materiali abrasivi	Durezza		
	Scala Mohs	Scala Vickers	Scala Knoop
<b>Abrasivi naturali</b>			
Diamante industriale	10	10000	8000
Corindone	9	2200	1600 - 2100
Smeriglio	7 - 9	1600	800 - 1800
Granato	7 - 8	1100 - 1300	1300 - 1350
Selce	7	900 - 1100	700 - 800
Quarzo	7	1100	700 - 800
Pomice	5 - 6	-	430 - 560
Talco	1	-	-
<b>Abrasivi sintetici</b>			
Diamante sintetico	10	10000	8000 - 10000
Nitruro di boro (cubico)	10	7300 - 10000	4700 - 10000
Carburo di boro	9 - 10	3300 - 4300	2200 - 5100
Carburo di silicio	9	2800 - 3300	2000 - 3700
Allumina	9	2200	2000 - 2600

# Materiali ceramici avanzati

**Materiale inorganico, nonmetallico principalmente cristallino, di composizione rigorosamente controllata, prodotto secondo dettagliate regole da materie prime purificate e/o caratterizzate in modo estremamente accurato e che presenta specifiche caratteristiche**

**Definizione VAMAS (1993)**

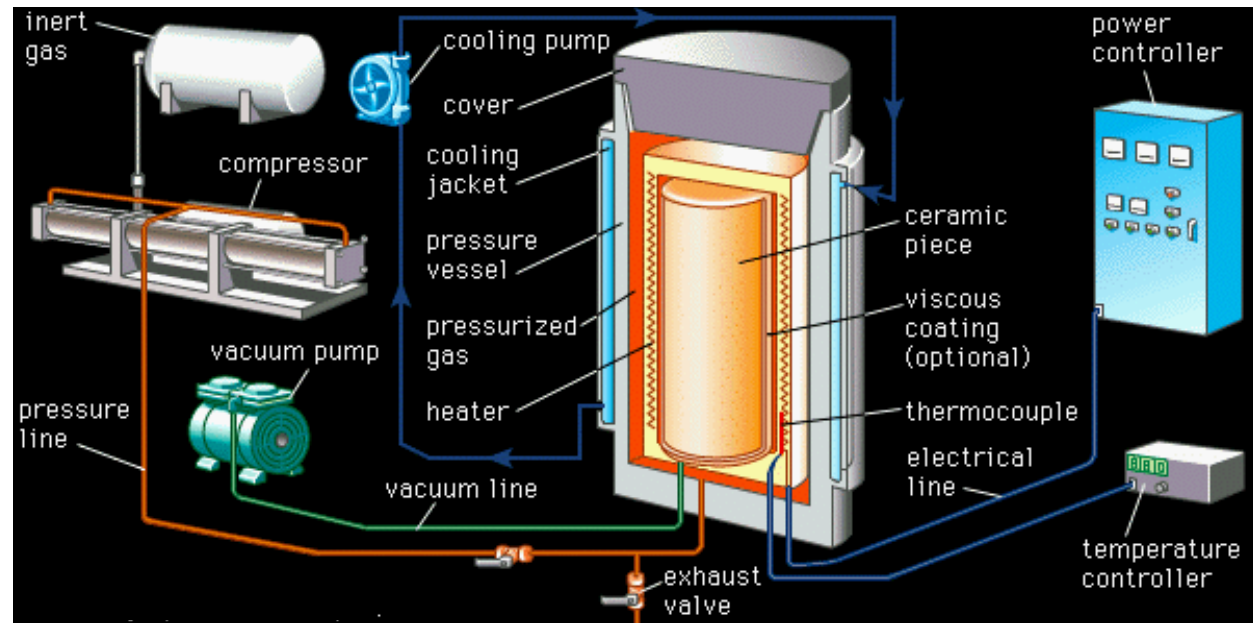
**Versailles Project on Advanced Materials and Standards**



# Materiali ceramici avanzati

## Produzione\_ Sinterizzazione

Processo di densificazione di un compatto di polveri: rimozione della porosità tra le particelle di partenza, coalescenza e formazione di forti legami tra particelle adiacenti



# Materiali ceramici avanzati\_strutturali

Presentano proprietà meccaniche opportune in condizioni operative impegnative (ambienti erosivi, corrosivi o ad elevata temperatura o dove sia richiesta un'elevata resistenza all'usura)

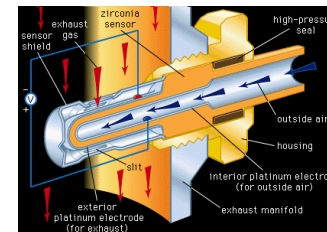
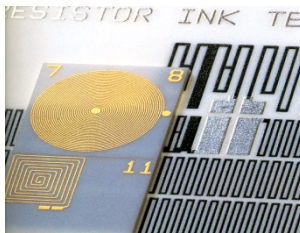
- valvole dei rubinetti
- scarpe sportive chiodate
- sfere nelle penne a sfera



# Mat. ceramici avanzati\_elettroceramici

## Materiali ceramici con proprietà elettriche

- circuiti integrati e condensatori
- materiali piezoelettrici
- proprietà magnetiche
- proprietà ottiche specifiche (luminescenza, laser)
- cambiamenti delle proprietà ottiche stesse per effetto di campi elettrici



# Mat. ceramici avanzati\_elettroceramici

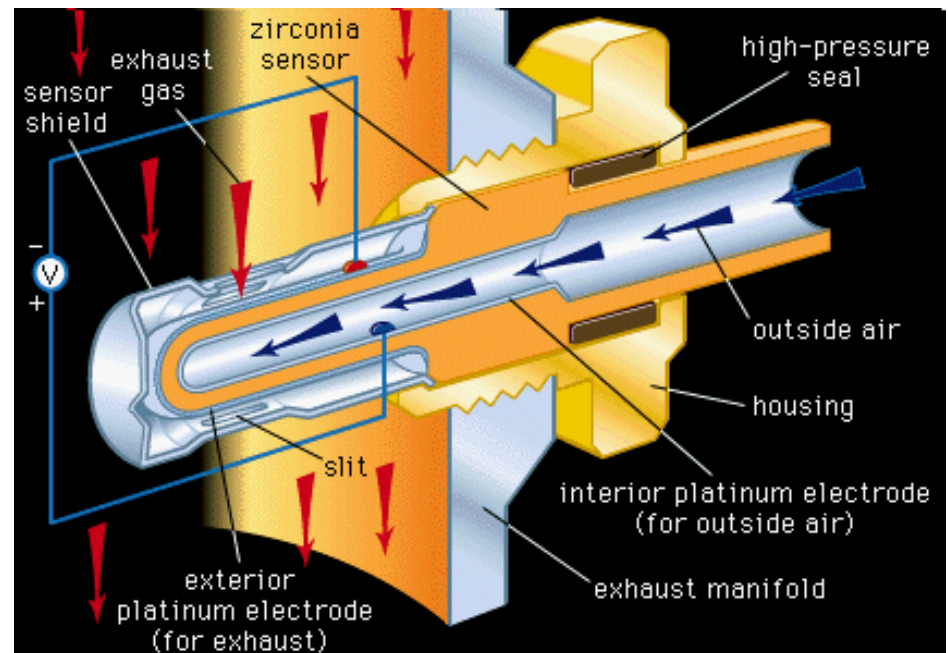
Materiali ceramici con proprietà ferromagnetiche (ferriti)

immagazzinamento di **memoria** per apparecchi quali nastri (cassette), floppy disk e hard disk.



# Mat. ceramici avanzati\_elettroceramici

opportunamente drogati fenomeno di conduzione di cariche nei **sensori**  
**di ossigeno nel motore delle automobili**



# Mat. ceramici avanzati\_elettroceramici

**batterie**\_dispositivo che converte l'energia chimica in lavoro elettrico



# Mat. ceramici avanzati\_ceramici ottici

- **trasparenza + notevole resistenza all'attrito o resistenza alle elevate temperature**
- **contenitori per lampade ad alta T**
- **finestre dei lettori dei codici a barre nei supermercati**
- **pigmenti**

