

3

# Modulo di **T**ecnologia dei **M**ateriali

Docente: Dr. Giorgio Pia

# I Ceramici

Formatura e Cottura

# I Ceramici

Oltre alle argille...

*Smagranti: inerti come sabbie silicee che hanno il compito di contenere il ritiro igrometrico.*

*Fondenti: materiali che fondono alle temperature di cottura e che per successivo raffreddamento formano una fase vetrosa che occlude i pori.*

# I Ceramici

## Fondenti

*Carbonato di calcio per temperature di cottura tra i 950-1000°C*

*Feldspati per temperature decisamente più elevate (ad esempio per la cottura dei grès e delle porcellane 1250-1450°C)*

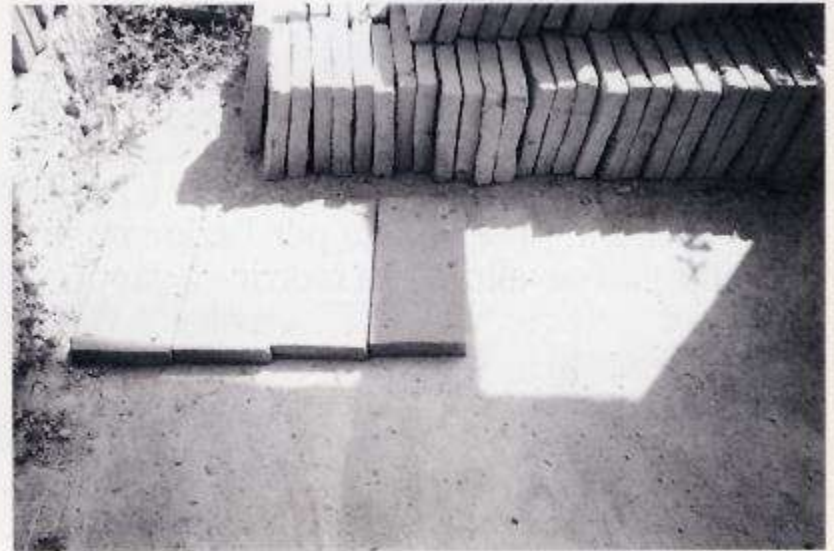
# *Ceramici*

---

## *stagionatura, selezione e impasto*

---

*L'impasto in passato veniva effettuato con i piedi nudi. Il materiale così lavorato veniva quindi raccolto e passato agli operatori che manualmente provvedevano a sagomare il prodotto con l'ausilio di forme in legno.*



Metodo	Umidità dell'impasto	Esempi di applicazione
Pressatura	5-7%	Piastrelle, stoviglie
Estrusione	15-20%	Piastrelle, laterizi
Colaggio	35-40%	Sanitari

## *Formatura*

---

### *Formatura in pasta*

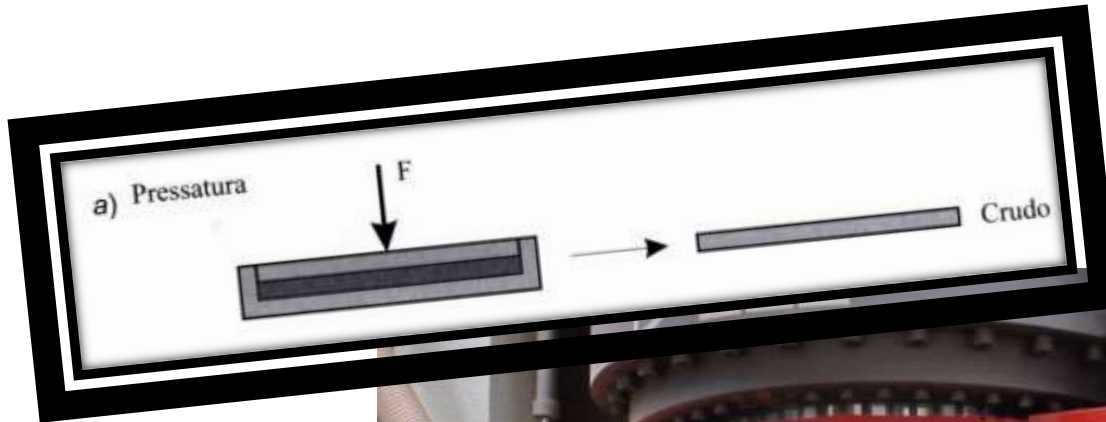
*tornio del vasaio.*

### *Formatura a secco*

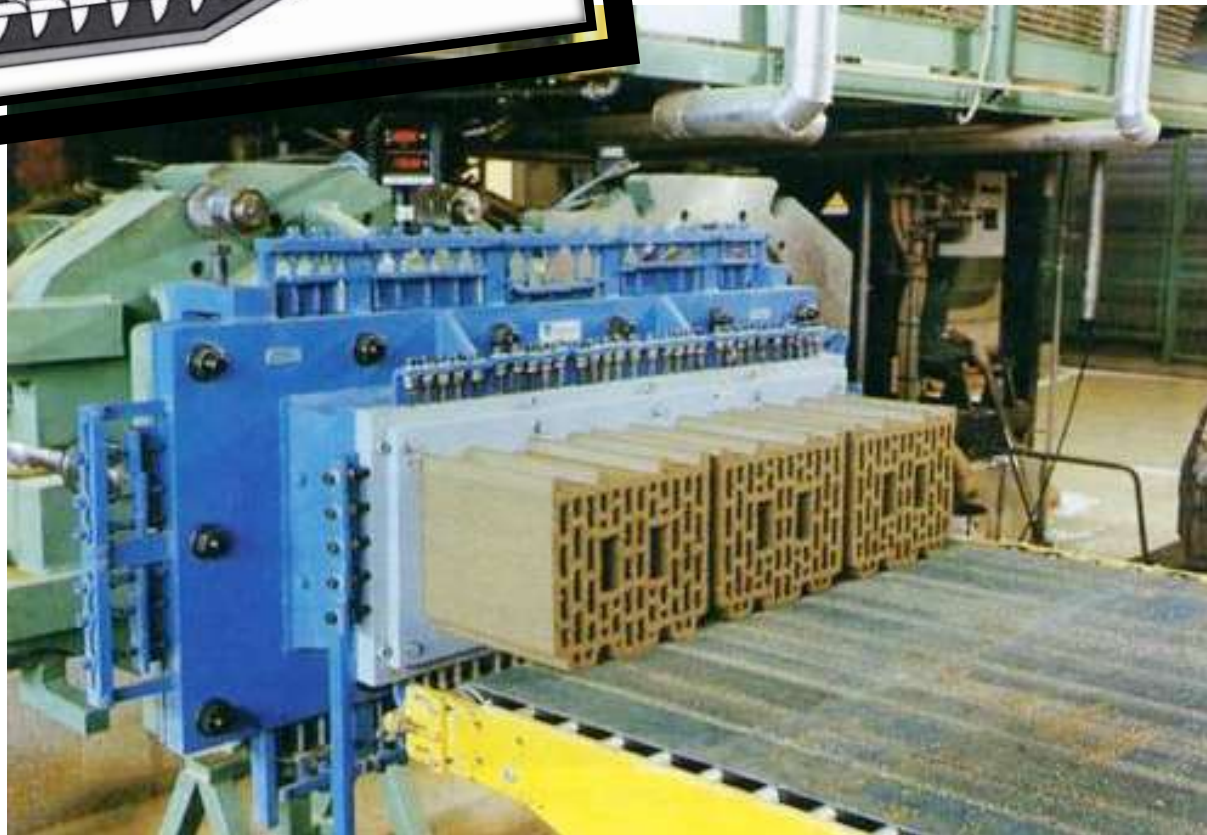
*bassa umidità (5÷10%), pressioni 200÷700 atm.*

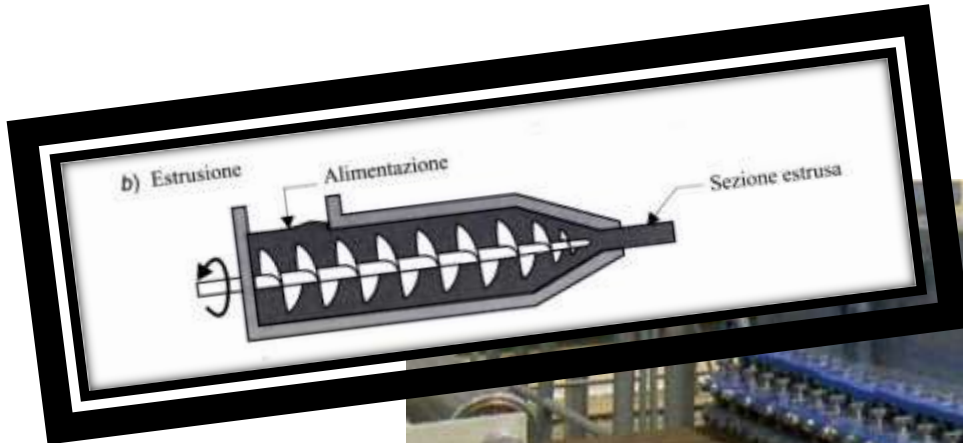
### *Formatura per colata*

*ottenimento pezzi di grosse dimensioni, calco in gesso.*









*Ceramici*

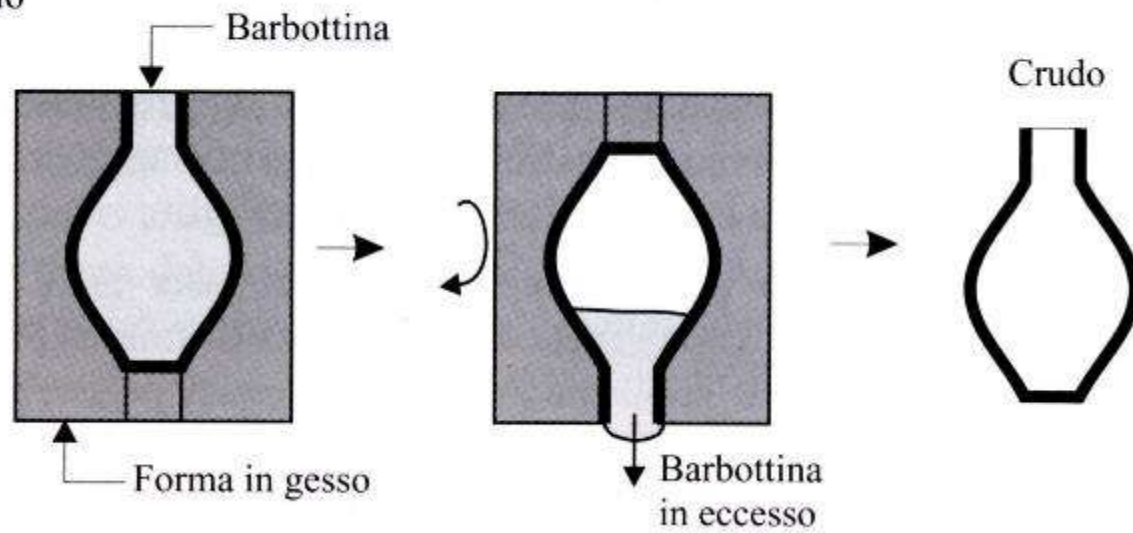
---

*Formatura*

---



c) Colaggio



*Ceramici*

---

*Colaggio*

---

*La fase di essiccamento dei manufatti durava perlomeno un mese ed era naturale, cioè avveniva esponendoli all'aria aperta, non direttamente al sole ed eventualmente provvedendo ad un periodico riposizionamento per favorire l'uniformità del processo su tutte le superfici.*

*Questa fase, che precede la cottura, è una delle più delicate durante la quale gli oggetti perdono l'acqua di impasto. La velocità con cui avviene questo processo deve essere molto lenta e in particolare si deve verificare che la velocità di evaporazione dell'acqua in superficie sia minore o uguale a quella di diffusione dell'acqua dall'interno alle superfici esterne.*

## Essiccamento

---

1

*Inizialmente viene eliminata l'acqua in eccesso e a questa fase corrisponde il massimo ritiro, infatti mentre l'acqua evapora le particelle dell'impasto si avvicinano tra loro formando una struttura sempre più compatta, ma comunque porosa.*

2

*Durante la seconda fase la velocità di essiccamento diminuisce perché la superficie non è più alimentata con regolarità dall'interno (riduzione delle dimensioni dei pori).*

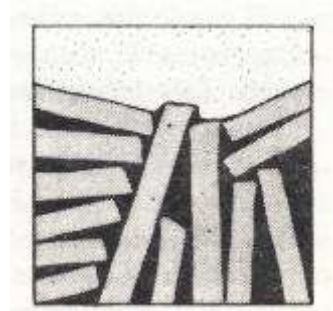
3

*Mentre nella terza fase l'acqua evapora direttamente all'interno dei pori e fuoriesce allo stato di vapore non facendo registrare alcun tipo di ritiro. Ovviamente un essiccamento molto veloce comporterebbe la formazione di cricche che pregiudicherebbero le prestazioni dell'oggetto finito ancor prima di essere cotto.*

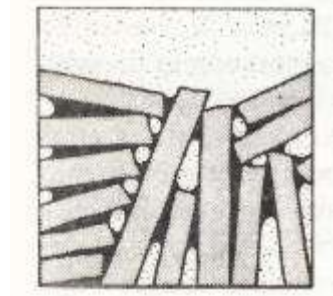
*Essiccamento*

---

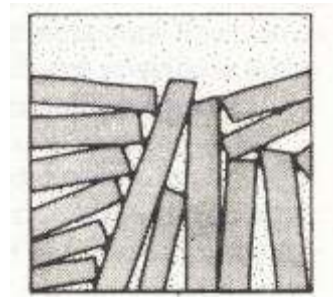
1



2



3



*Essiccamento*

---

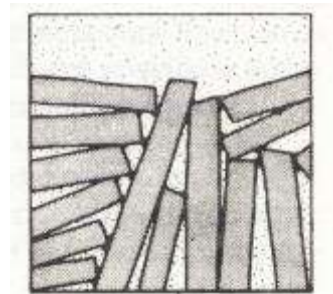
1



2



3



### *Ritiro lineare:*

*Caolino*

*3÷10%*

*Illite*

*4÷11%*

*Montmorillonite*

*12÷23%*

*Lo scopo del processo di cottura è quello di indurre trasformazioni irreversibili nei minerali argillosi in modo da consentire la formazione di **nuovi composti stabili e resistenti che conferiscano al manufatto resistenza meccanica e durabilità**; il mattone cotto è una "pietra" la cui forma e dimensione sono decise dall'uomo.*

*Una semplice illustrazione dei processi che avvengono su una argilla al crescere della temperatura di esposizione può essere fatto riguardo alla caolinite, anche se come detto in precedenza questo minerale non è probabilmente quello più comune nelle materie prime per laterizi.*

*Il primo effetto è la perdita dell'acqua assorbita sulle superfici dei cristalli, che avviene a circa 150 °C. Nell'intervallo 450÷600 °C si ha la perdita in peso equivalente alle due molecole d'acqua di costituzione del reticolo cristallino. Il materiale perde la sua plasticità. Questo composto viene ordinariamente chiamata metacaolino:*



*Continuando il riscaldamento fino a **950 °C** si ha che l'allumina e la silice si organizzano per dar luogo dapprima alla formazione di uno **Spinello**:*



*e successivamente di **mullite** (1000÷1100 °C); poiché il rapporto silice allumina passa da 2:1 a 3:2 si ha la messa in libertà di silice, che data la temperatura si troverà sottoforma di cristobalite:*



*La mullite è costituita da cristalli aciculari, aghiformi che sono responsabili della notevole resistenza meccanica che si riesce ad ottenere nei manufatti trattati alle temperature più alte.*

*È difficile scrivere in formule le reazioni per altre tipologie di argille.*

*L'illite perde l'acqua di costituzione in un ampio intervallo e può ritrovarsi parzialmente inalterata ancora a 900 °C.*

*Le montmorilloniti si disidratano in maniera complessa: in una prima fase a circa 600 °C si elimina l'acqua di costituzione della componente brucitica,  $Mg(OH)_2$ , mentre la disidratazione si completa a circa 800 °C.*

*Questi processi di vero e proprio “collasso” strutturale dei reticoli cristallini delle argille pongono in libertà tutta una serie di componenti che possono quindi ricombinarsi tra loro e con gli ossidi  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  derivanti dalla decomposizione dei rispettivi carbonati (calcari, calcari magnesiaci, dolomiti; i calcari a circa  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  e i componenti dolomitici a temperature inferiori).*

*La disponibilità di ossidi di calcio e di allumina e di silice consentono, a temperature comprese tra 900÷1000 °C, la formazione di silicati e silicoalluminati di calcio e ferriti che esercitano un'azione legante nella microstruttura del materiale; tra le principali neoformazioni vi sono:*

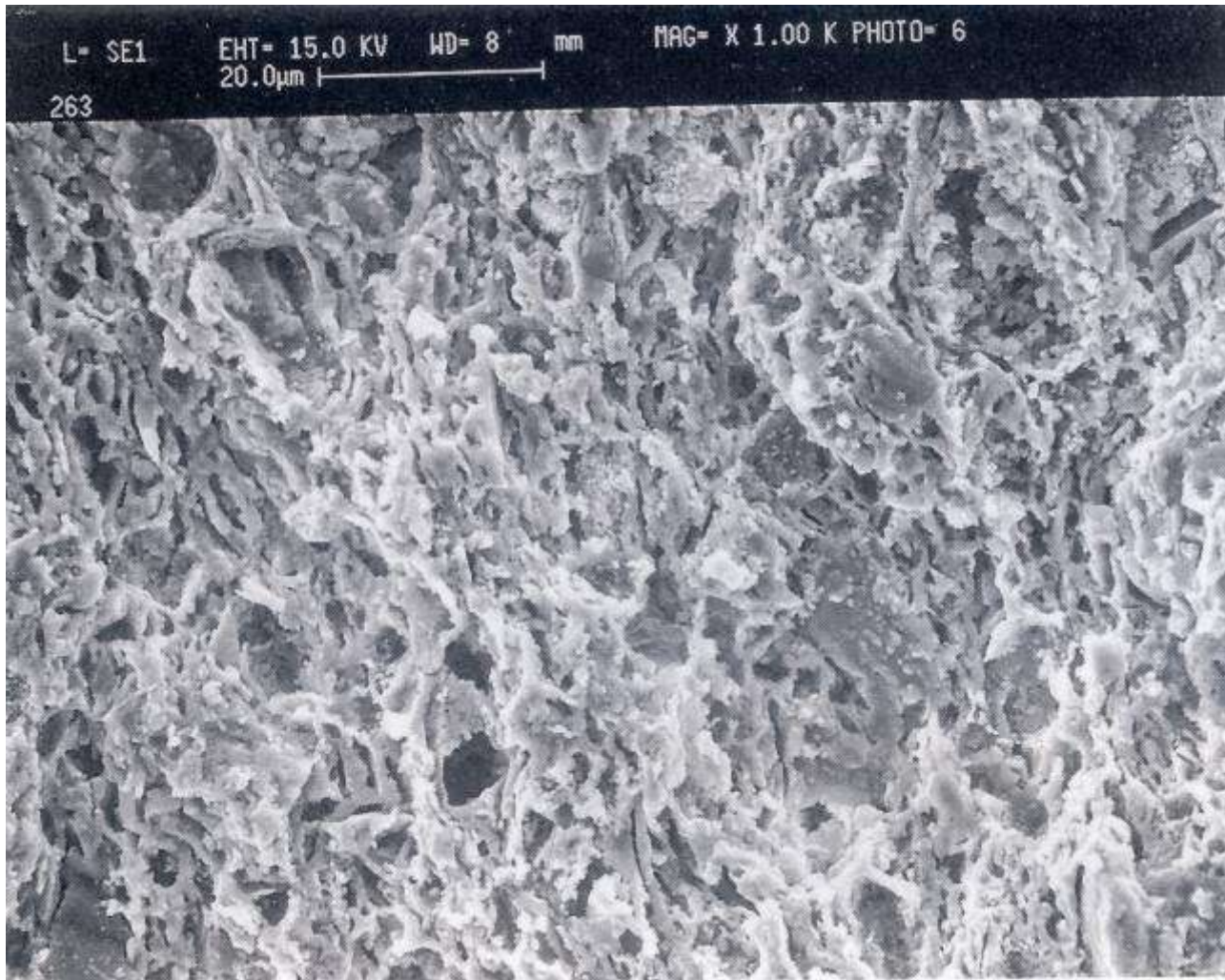
***Wollastonite ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )***

***Gehlenite ( $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ )***

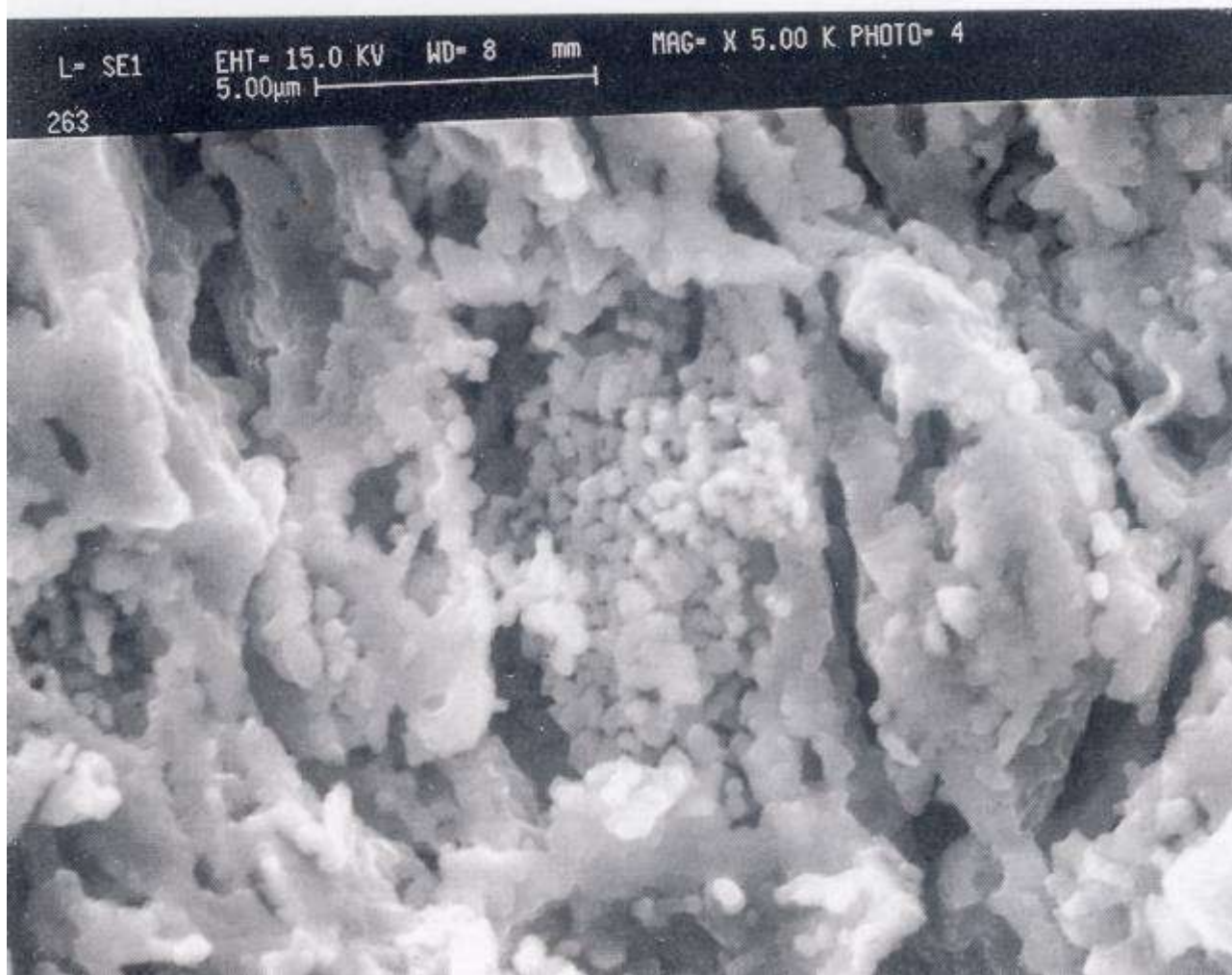
*Questo complesso di reazioni avvengono in parte allo stato solido nei punti di contatto tra i micrograni (polveri più fini sono più reattive) che nella fase liquida che si forma in quantità progressivamente crescente con la temperatura per fusione di alcuni silicati (il composto  $30\%K_2O$   $4\%Al_2O_3$   $66\%SiO_2$  fonde a  $695^\circ C$ , un eutettico a  $918^\circ C$  si forma nel sistema  $K_2O$   $2SiO_2$ - $K_2O$   $Al_2O_3$   $4SiO_2$ )*

*Il forte legame che si instaura sul cotto, e quindi la solidità e la coesione del manufatto, a queste temperature è prevalentemente dovuto all'intreccio dei cristalli di wollastonite e gehlenite ed alla solidificazione della fase fusa.*

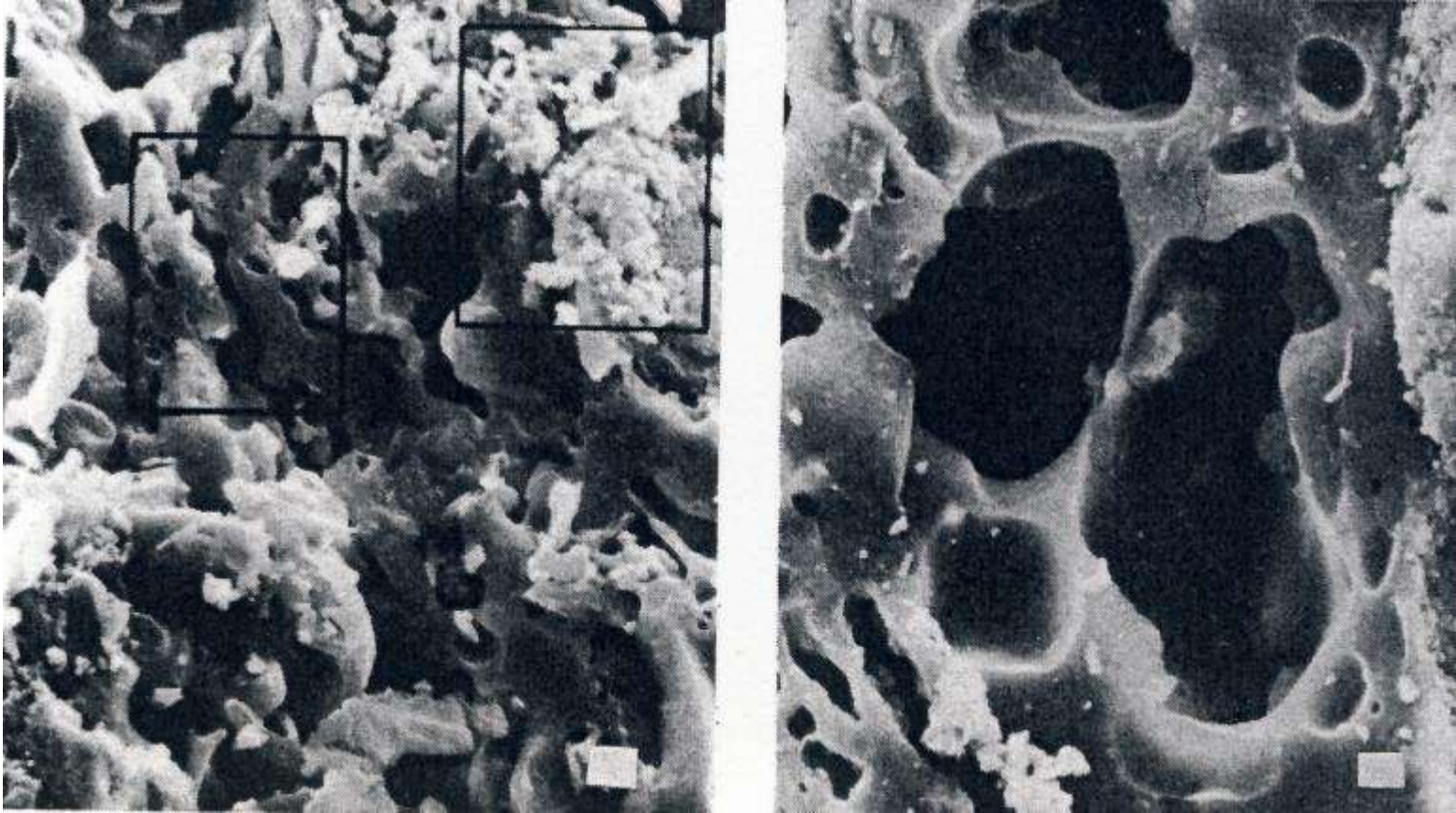
*Riguardo a quest'ultima si osserva che nelle miscele dove l'illite è l'argilla predominante, una situazione piuttosto comune, a basso contenuto di carbonato, ad alto contenuto di ferro, in atmosfera riducente si costituisce un eutettico tra la silice e l'ossido ferroso poco oltre i 900°C e la quantità di fuso che si forma è tale da portare ad una discreta "greificazione". Sui materiali antichi si è talvolta riscontrata anche la formazione di diopside,  $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)$ , e di clinoenstatite,  $\text{Mg}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$ .*



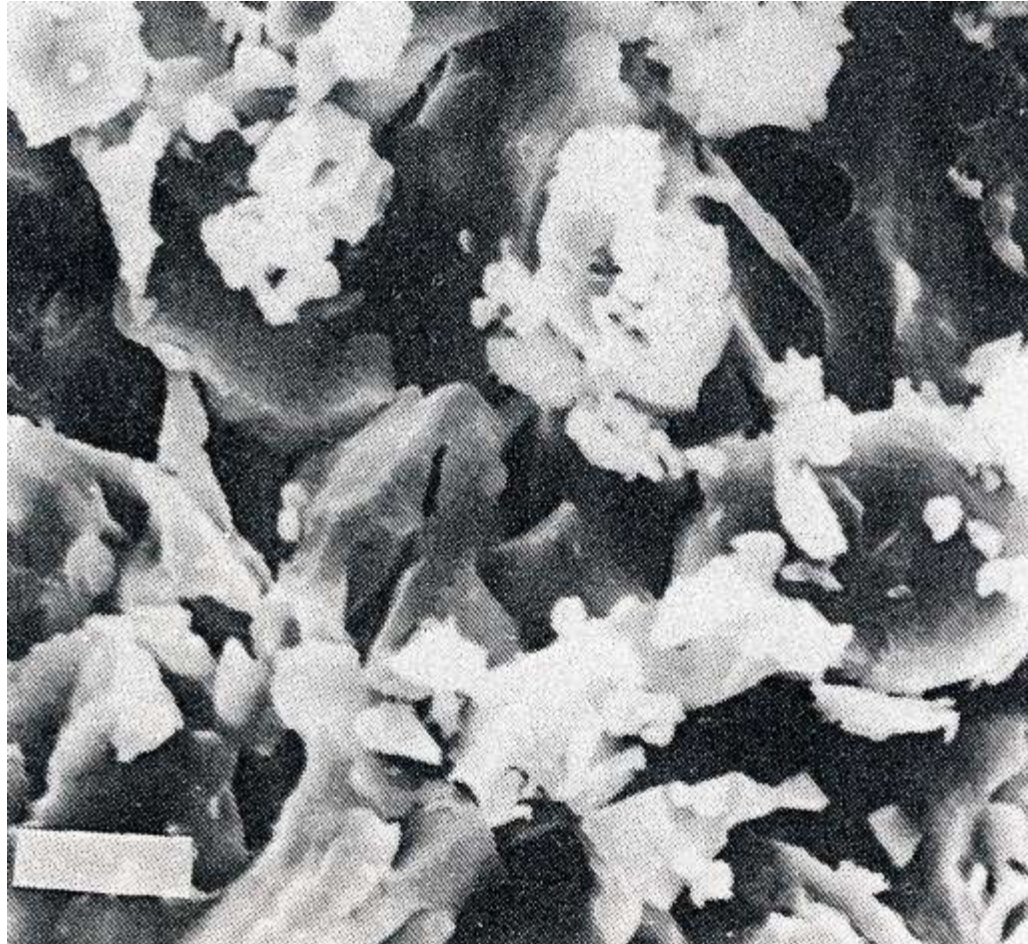
*Microstruttura di un mattone: porosità e granelli di neoformazione.*



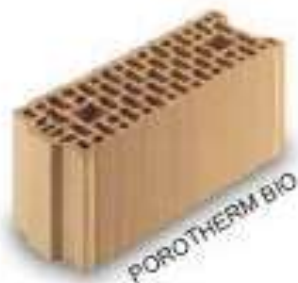
*Microstruttura di un mattone: porosità e granelli di neoformazione.*



*Microstruttura di un mattone.*



*Microstruttura di un mattone.*





a)



b)

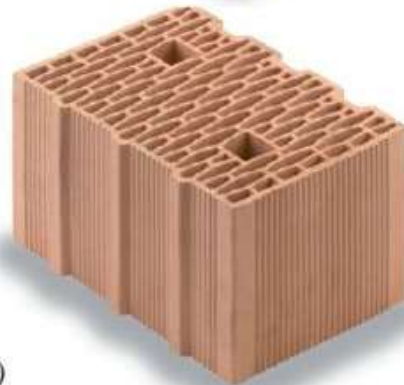


c)

Laterizi per muratura: a) mattone pieno UNI (120x250x55 mm); b) mattone semipieno UNI (120x250x55 mm); c) mattone doppio UNI in laterizio porizzato (120x250x120 mm).



a)



b)

Laterizi per muratura: a) blocco in laterizio porizzato (300x250x190 mm); b) blocco in laterizio porizzato a setti sottili (380x250x238 mm).



a)



b)

Laterizi forati: a) laterizi forati a dieci e a otto fori (80x250x500 mm); b) laterizio forato a tre fori (45x150x300 mm).

Laterizi per coperture



**1.Coppi**



**2.Tegola romana**



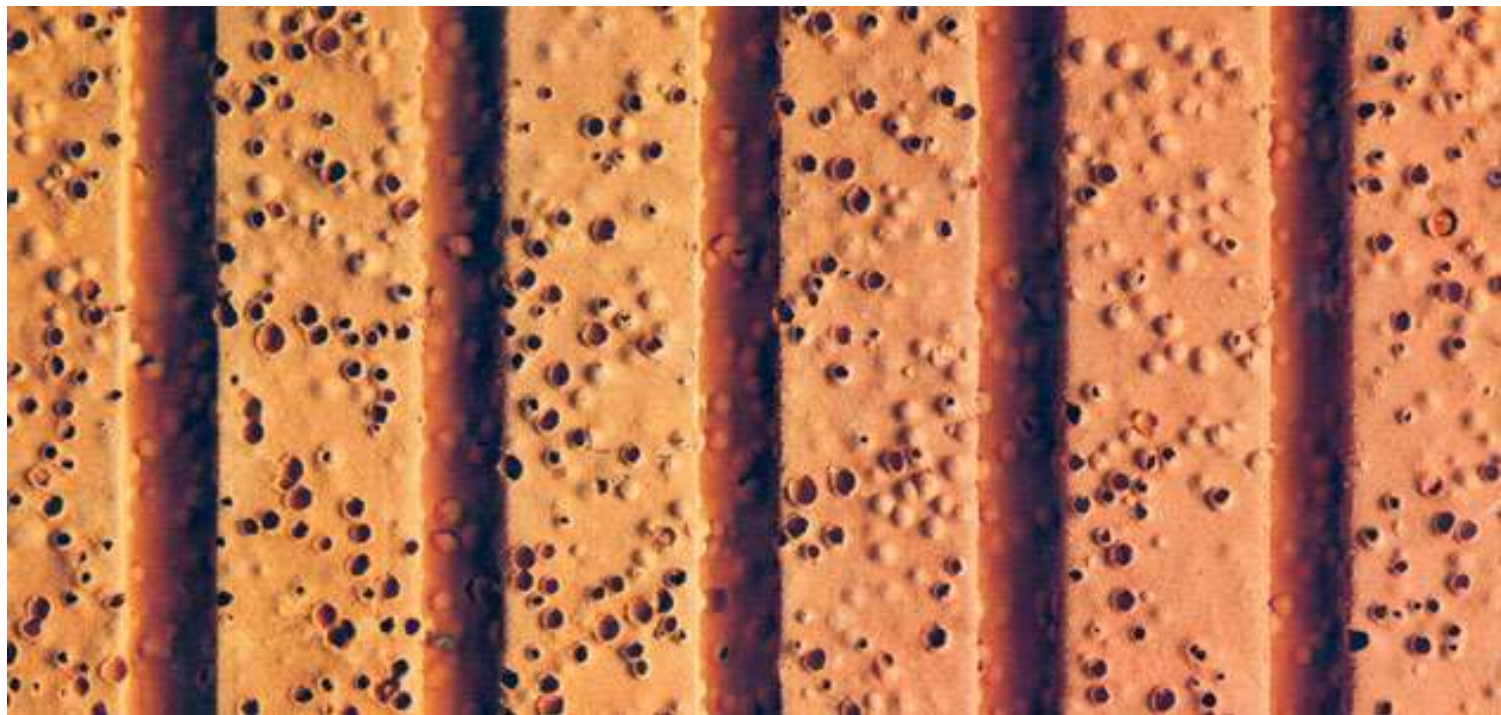
**3.Tegola marsigliese**



**4.Tegola portoghese**



**5.Tegola olandese**



## *Caratterizzazione*

---

	<i>P, %</i>	<i>Reggio medio, <math>\mu\text{m}</math></i>	<i><math>\sigma_c</math>, N/mm<sup>2</sup></i>
<i>1</i>	<i>28</i>	<i>0.15</i>	<i>55</i>
<i>2</i>	<i>36</i>	<i>0.60</i>	<i>30</i>
<i>3</i>	<i>31</i>	<i>0.30</i>	<i>45</i>
<i>4</i>	<i>36</i>	<i>0.60</i>	<i>45</i>
<i>5</i>	<i>34</i>	<i>0.80</i>	<i>35</i>
<i>6</i>	<i>36</i>	<i>0.80</i>	<i>30</i>
<i>7</i>	<i>32</i>	<i>0.30</i>	<i>45</i>
<i>8</i>	<i>34</i>	<i>0.2</i>	<i>40</i>
<i>9</i>	<i>29</i>	<i>0.015</i>	<i>55</i>

---

## Caratterizzazione

---

*Per quanto concerne l'edilizia storica, probabilmente i primi dati sperimentali di resistenza a compressione di mattoni furono pubblicati da Gauthey nel 1774 (Journal de physique); i valori riportati variavano da 13 a 17 N/mm<sup>2</sup>.*

*Il mattone di moderna produzione in Italia utilizza materie prime con proporzioni minerali argillosi:carbonato:quarzo+feldspato = 40:20:40; le argille sono illitico-cloritiche e smectitiche. Le temperature di cottura sono comunemente tra 900 e 1000°C (ma talune produzioni di mattone forato si fanno anche a 800°C mentre per i mattoni a faccia vista, avendo una evidente vetrificazione, si può salire a 1100 °C).*

*La porosità aperta  $P$  varia nell'intervallo 30÷40%, con diametro medio dei pori frequentemente tra 0.5 e 1.5  $\mu\text{m}$ . I valori di resistenza flessione (intrinseci, non del mattone forato nel suo complesso) variano da 5.5 a 10.5 N/mm<sup>2</sup>; in particolare per i campioni di mattone pieno si ha in media 8 N/mm<sup>2</sup>.*

*Oltre ai mattoni correttamente cotti, si possono avere anche mattoni cotti male e dunque inutilizzabili.*

*Da un'eccessiva cottura derivano i **ferrioli**, sono scuri e hanno scarsa porosità. La carenza di porosità fa sì che essi abbiano maggiori resistenze meccaniche, ma che aderiscano difficilmente alla malta cementizia una volta che sono messi in opera.*

***Forti**. Di buona cottura.*

*Quelli poco sono invece chiamati **albasi**, sono di colore chiaro, molto porosi e dunque scarsamente resistenti dal punto di vista meccanico.*

I Ceramici

I Vetri

*Per ch'io mi volsi, e vidimi davante  
e sotto i piedi un lago che per gelo  
avea di vetro e non d'acqua semiante.*

*Dante, La Divina Commedia,  
Inferno XXXII*

1



*Il principale impiego dei vetri nell'ambito dell'edilizia storica consiste nella realizzazione delle **lastre per finestre**, da considerarsi una difficile conquista tecnica.*

2



*La loro funzione è quella di **permettere il passaggio della luce naturale** e quindi l'illuminazione degli ambienti interni, impedendo nel contempo l'ingresso degli agenti meteorici quali l'acqua ed il vento; per questo ruolo il vetro è un **materiale pressoché ideale**, se consideriamo che tra le sue caratteristiche vi sono anche **la durabilità e la facilità di pulizia**.*

3



*Tra gli impieghi complementari di questo materiale non possono non citarsi quelli di grande valenza artistica quali **le tessere per mosaici**.*

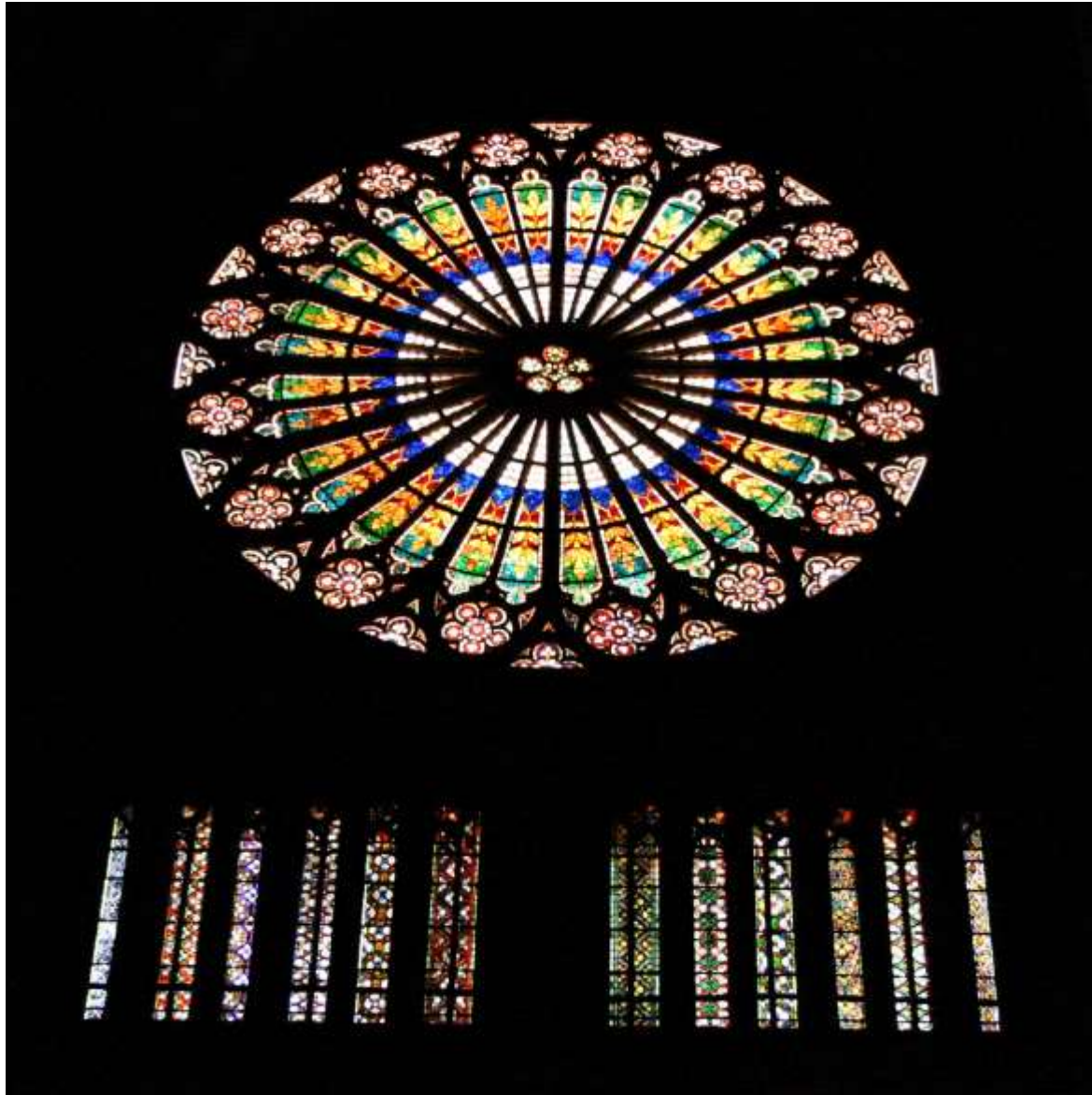
## *Il vetro*



*Basilica di san Vitale, Ravenna (epoca Bizantina).*



*Duomo di Monreale (epoca Bizantina).*



*Cattedrale di Strasburgo.*

## *Il vetro*



*Cattedrale di Notre-Dame, Parigi.*

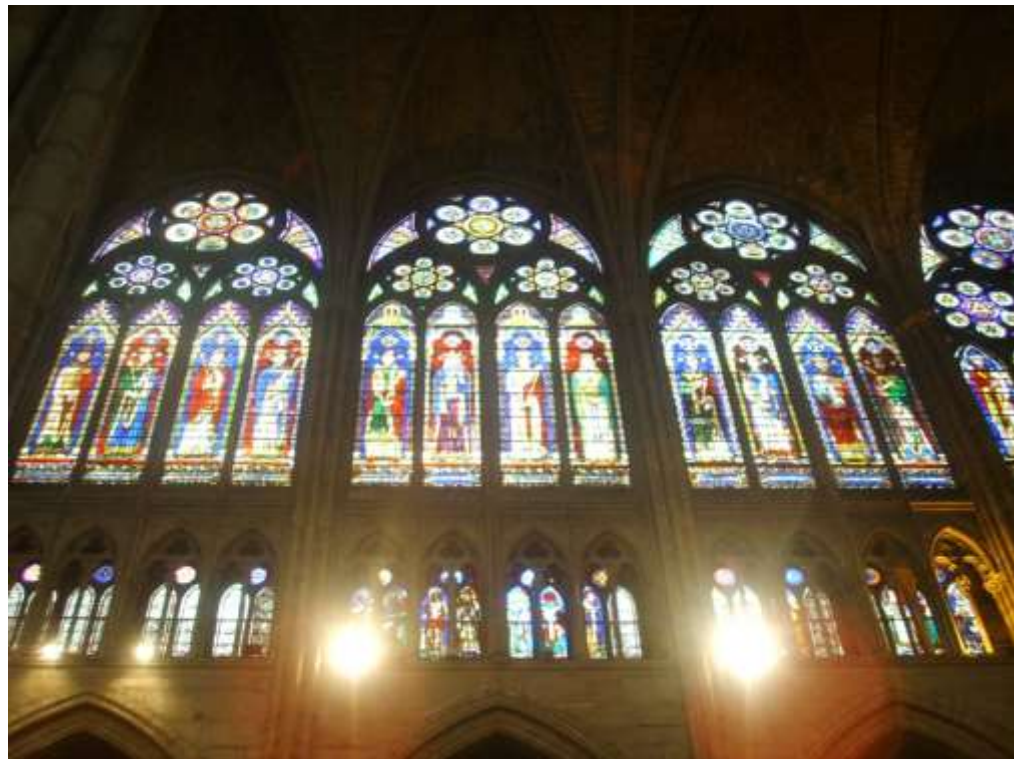
# 4



*La colorazione di questi vetri poteva essere intrinseca, **di massa**, oppure su un vetro sostanzialmente incolore si applicava su una delle due facce una **polvere colorata**, a sua volta vetrosa, che si faceva aderire a seguito di trattamento in forni a circa 600°C.*

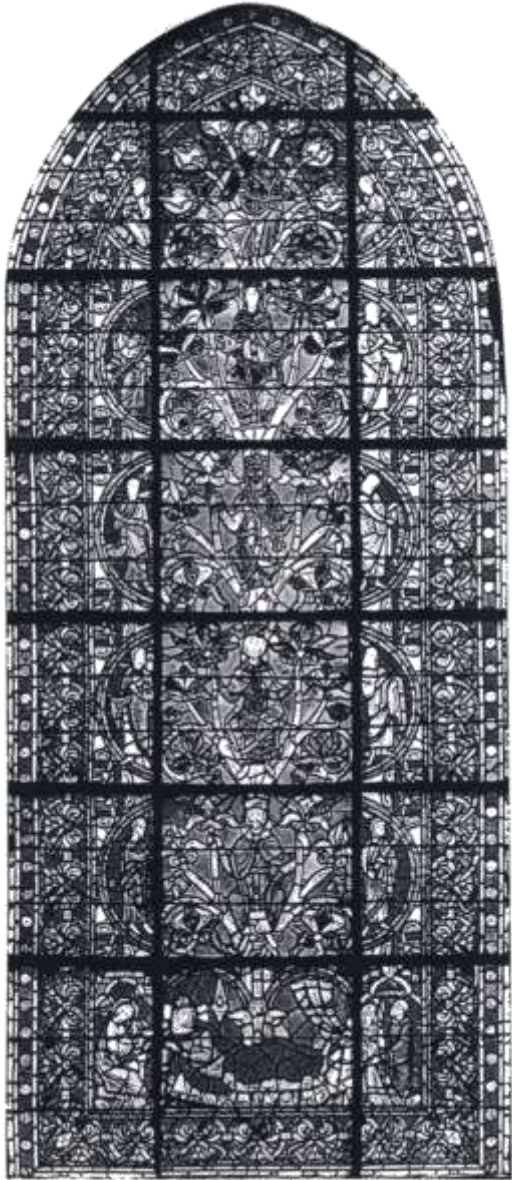
## *Il vetro*

---



*Basilica di Saint-Denis.*

## *Il vetro*



*Basilica di Saint-Denis.*

## *Il vetro*

---



*Basilica di Canterbury.*

## *Il vetro*

---



*Basilica di Canterbury.*

# 5



*Secondo una leggenda la scoperta della tecnica per la fabbricazione del vetro è legata a un episodio casuale. Una nave di commercianti di salnitro naufragò presso le sponde della Fenicia. Volendo cucinare sulla sabbia, i naufraghi usarono pezzi di salnitro al posto delle pietre per delimitare il focolare. A contatto con il fuoco, il salnitro mischiato alla sabbia si trasformò in un liquido nuovo e trasparente che in breve si solidificò. Era il vetro.*

# 6



*Pur potendo far risalire la preparazione dei primi vetri (barrette, perline e contenitori realizzati applicando il materiale reso “pastoso” dal riscaldamento su nuclei sagomati in terra) ad alcuni millenni a.C. (ritrovamenti di in area mesopotamica ed egizia), la capacità di produrlo in lastre atte alla chiusura delle finestre è molto più recente.*

7



*Attualmente la documentazione archeologica indica una regolare ma quantitativamente limitata produzione e quindi applicazione del vetro per finestre, nell'area Mediterranea, verso la fine del I secolo a.C. Nella stessa epoca, forse non a caso, è documentata la tecnica della "soffiatura" che consente una lavorazione decisamente più veloce ed un prodotto di migliore qualità anche nell'ottenimento di contenitori (vasi e bicchieri); questo sviluppo nasce probabilmente in area siro-palestinese, ma coinvolge rapidamente anche Roma.*

# 8



*A Pompei, distrutta dall'eruzione del Vesuvio del 79 d.C., sono state rinvenute lastre per finestra con dimensioni che arrivano a **70x100 cm**, e spessori di **circa 1 cm**, di colore prevalentemente **verde** (tipico della presenza di **ferro come impurezza** delle materie prime). Alcune lastre presentano una faccia smerigliata. Lastre della **Britannia romana** hanno spessori di pochi millimetri e **colori blu-verdastri**.*

*Ma bisogna arrivare verso la metà del 1400 per vedere, in Europa, l'impiego **sistematico di lastre** alle finestre degli edifici principali delle città. La Figura mostra una miniatura del 1450 nella quale la presenza di vetri alla finestra è esplicitamente esibita.*

## *Il vetro*



*Vetri alle finestre, nella metà del XV secolo.*

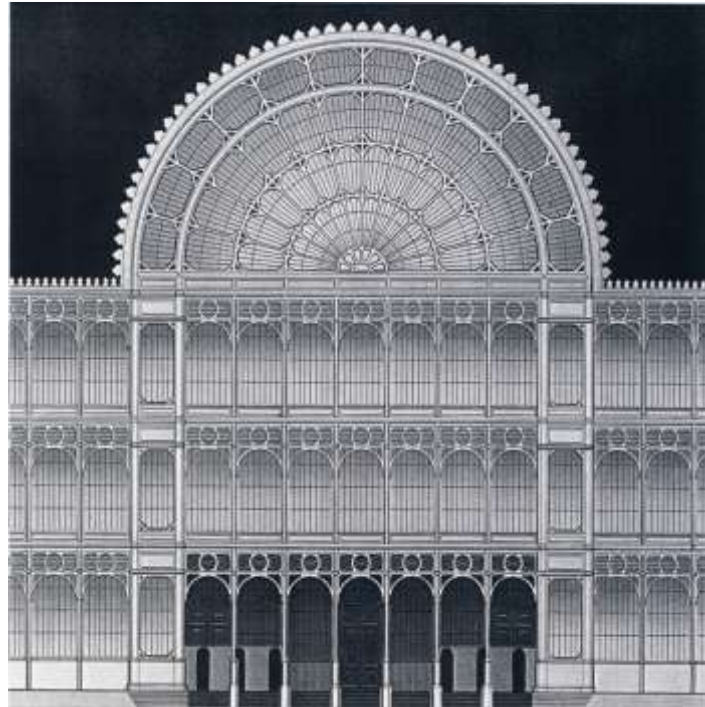
# 9



*È però nel '600 che si assiste, in particolare in Francia ed in Inghilterra, inizialmente con l'impiego di maestranze veneziane (la città lagunare era da secoli un riconosciuto centro produttivo di oggetti in vetro e ancora oggi la piccola isola di Murano è un importante punto di riferimento per la produzione di vetri artistici) ad un **netto miglioramento** della capacità di produrre lastre di buona dimensione e di qualità costante; il mercato che stimolò la tecnica era **soprattutto quello dei grandi specchi e delle carrozze.***

# 10

*L'apoteosi dell'edificio storico con grandi lastre di vetro trasparente, e struttura portante in colonnine di ghisa, fu il Crystal Palace costruito a Londra nel 1851 in occasione della Great Exhibition. La costruzione venne smontata e riposizionata nel 1854 e restò un'attrazione fino al 1936 quando venne distrutto da un incendio.*

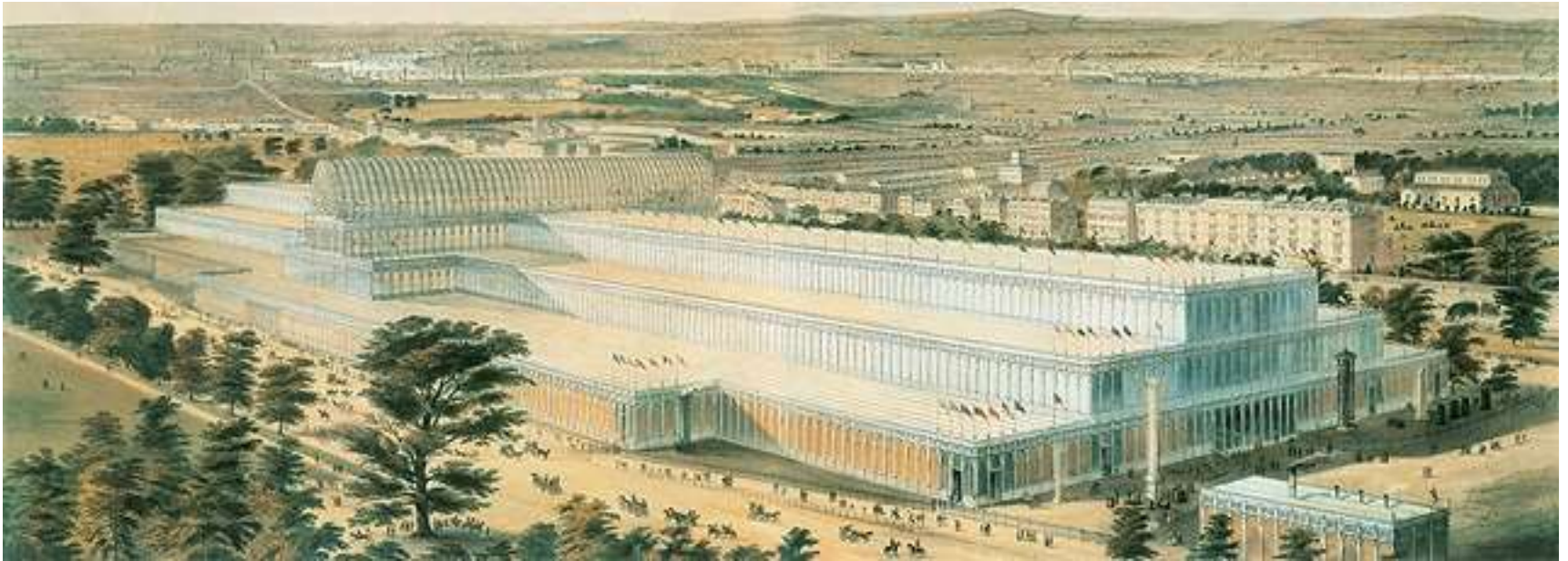


# *Il vetro*

---

*Palazzo di Cristallo, 1850-1851.*

---



# *Il vetro*

*Palazzo di Cristallo, 1850-1851.*



# *Il vetro*

---

*Palazzo di Cristallo, 1850-1851.*

---



# *Il vetro*

---

*Milano, Galleria Vittorio Emanuele II, 1865-1878.*

---



# *Il vetro*

---

**Milano, Galleria Vittorio Emanuele II, 1865-1878.**

---



## *Il vetro*

---

**Milano, Galleria Vittorio Emanuele II, 1865-1878.**

---



# 11



*Il vetro è un “solido” molto diverso da tutti quelli sino ad ora considerati in questa trattazione, caratterizzati da una successione sostanzialmente regolare di atomi su una grande scala dimensionale.*

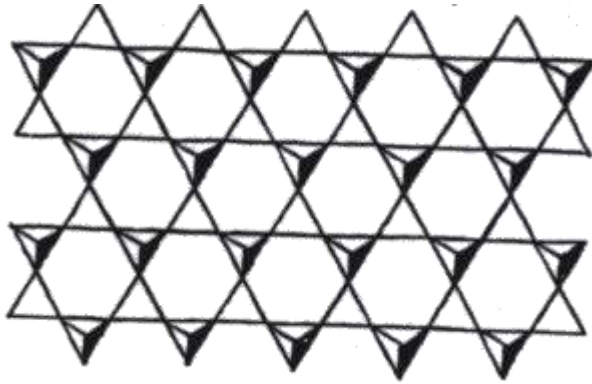
*Sia i materiali “**mineralici**” (naturali o artificiali che siano, ed i cui atomi sono connessi da legami direzionali e che quindi risultano intrinsecamente fragili come rocce, gesso, calci, cementi e loro derivati) che i **metalli** (i cui legami sono non direzionali, ciò che li rende intrinsecamente plastici in quanto deformabili senza rottura almeno per un certo grado), **sono caratterizzati da reticoli cristallini ben definiti e tipici per ciascun materiale.***

# 12

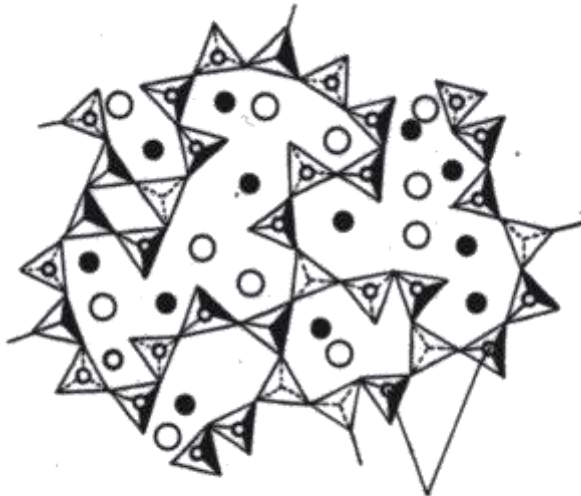
*Gli atomi costituenti i vetri sono invece combinati in strutture che hanno un ordine solamente alle brevi distanze (a corto raggio) ma che diventano rapidamente disordinati già per lunghezze di **1 nm** ( $10^{-6}$  mm).*

*In effetti la microstruttura del vetro è analoga a quella di un liquido ed infatti attraverso la fase liquida si passa per formare i vetri con la fusione delle materie prime. La grande **viscosità** di questi sistemi pari quantitativamente a  $10^{22}$  volte quella dell'acqua, **impedisce, durante la solidificazione, la normale riorganizzazione degli atomi incapaci di riformare sistemi cristallini. Si può dire che il vetro è un liquido che ha una forma definita su scala macroscopica solo perché ha una grandissima viscosità.***

# *Il vetro*



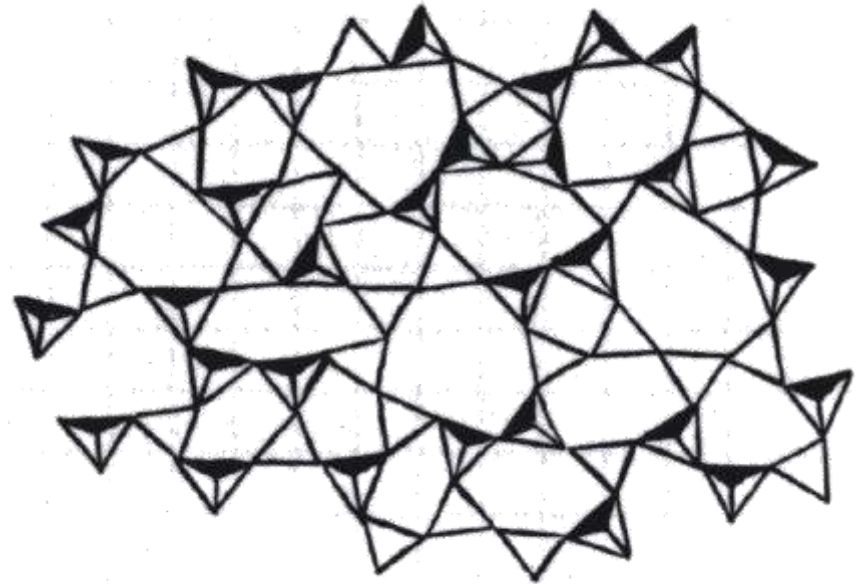
*Quarzo cristallino*



- Sodio
- Calcio

○ Ossigeni condivisi con altro strato (a formare la tridimensionalità del prodotto)

*Vetro calcio-sodico*



*Silice fusa*

# 13



*La composizione chimica del vetro “da finestra” si è mantenuta, nel tempo, sostanzialmente invariata. La disponibilità delle materie prime non è mai stata una barriera tecnologica.*

*Il componente base è la silice, **SiO<sub>2</sub>**, largamente reperibile su gran parte della superficie terrestre data la sua stabilità chimica e meccanica sotto forma ad esempio di **sabbia quarzosa**.*

# 13



*La silice svolge proprio il ruolo di “vetrificante” (formatore del vetro).*

*Indispensabili componenti per poter contare su un prodotto facilmente lavorabile alle temperature accessibili agli antichi, intorno ai 1000°C, è la presenza di alcali quali  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (i fondenti), disponibili sotto forma di carbonati nelle ceneri dei vegetali.*

# 14



*Il sodio derivava in prevalenza dalle piante che **cregono in prossimità del mare**, mentre il **potassio da quelle più marcatamente continentali**; un'analisi delle ceneri della *Salsola Kali L.* che cresce sulle coste del Mediterraneo ha dato:  $\text{Na}_2\text{O}=17\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=9\%$ ,  $\text{SiO}_2=7\%$ ,  $\text{CaO}=16\%$ ,  $\text{CO}_2=33\%$ .*

*Un terzo componente importante di questi vetri è il **CaO**, derivante dalla calcite,  $\text{CaCO}_3$ , dei comunissimi calcari, (o che si può trovare quale impurezza nelle altre materie prime) che svolge il ruolo di stabilizzante chimico.*

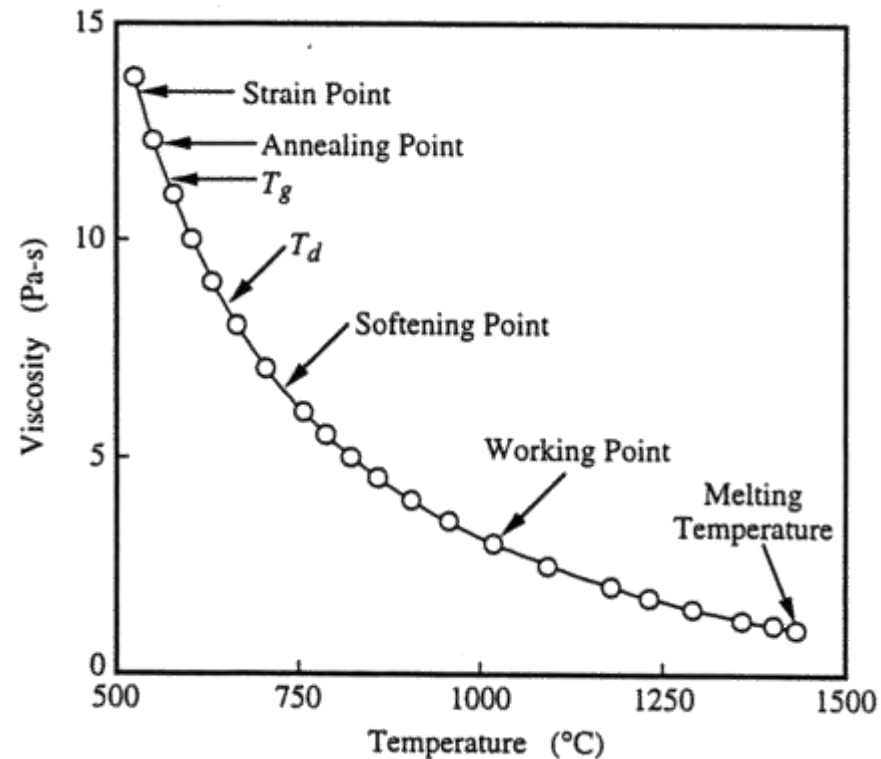
*Proprio per la presenza come componenti indispensabili (insieme alla silice) della calce (**CaO**) e della soda (**Na<sub>2</sub>O**) oggi il comune vetro per finestre viene definito anche **vetro calce-soda**.*

## *Il vetro*

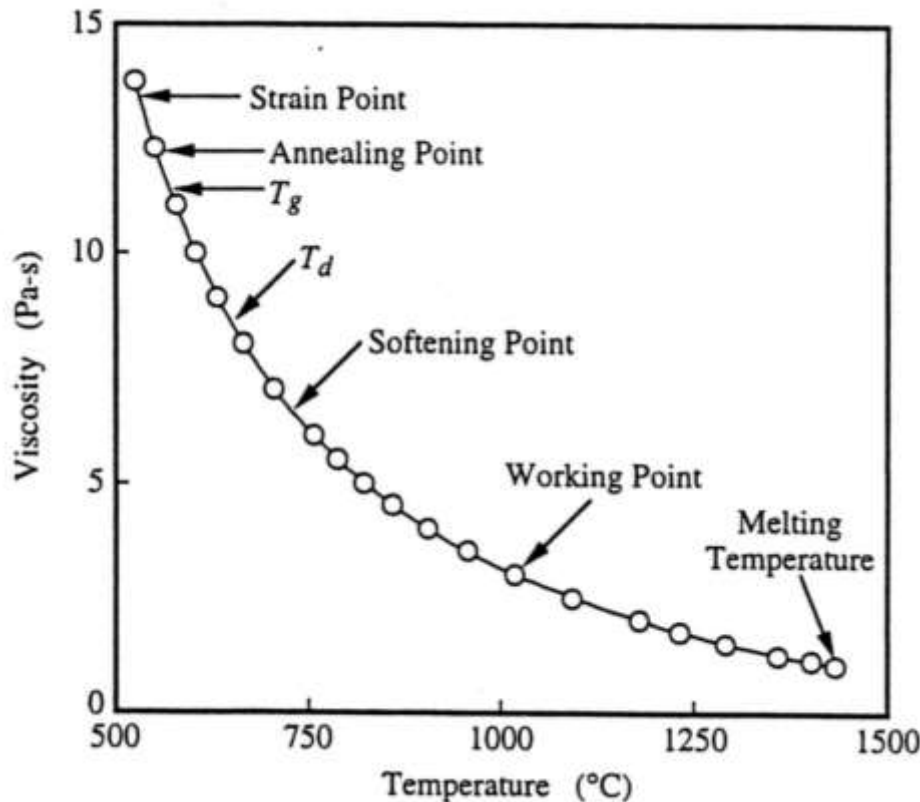
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	Altri
Vetro blu, Egitto, 1400 a.C.	64.1	3.5	15.5	1.2	8.6	
Vetro incolore, Assiria, 8° secolo a.C.	71.5	0.5	12.7	0.9	4.8	
Vetro giallo-verde, Colonia, Romano Imperiale	68.1	2.3	18.6	0.9	6.9	
Vetro, Egitto, 8° secolo d.C.	71.1	4.7	17.0	0.3	2.7	
Tessere S. Vitale, Verde	63.1	1.7	19.8	0.5	6.1	PbO: 4.1
“, Blu	65.3	2.5	16.8	0.7	9.0	0.5
“, Trasparente, rosata	69.0	2.2	17.2	0.5	6.9	-
“, Rossa	60.3	2.6	15.2	1.1	8.6	3.8
“, Arancione	45.0	1.9	10.2	1.1	6.7	18.0
Finestra, Derbyshire, 14° secolo d.C.	54.0	4.7	1.7	13.2	17.4	
Finestra romana, Cripta Balbi. Roma, 13 a.C.	62÷72	2÷2.5	17÷20	0.35÷0.90	5.5÷6.9	
Finestra contemporanea	72.0	2.0	15.0	-		
	72.0	-	14.0	-	10.0	

# 15

La relazione tra la temperatura e la viscosità del vetro è di grande importanza tecnologica. **La viscosità è una misura della capacità di un corpo, non solo liquido ma anche gas o solido, di scorrere, fluire, deformarsi quando è soggetto a forze (o tensioni, con riferimento alla superficie di carico).** La Figura riporta una tipica curva viscosità vs. temperatura di un vetro calce-soda.



# Il vetro



*“punto di lavorazione”, (per il vetro calce-soda intorno ai 1000 °C), il vetro è “solido” ma ancora deformabile da consentire una agevole formatura;*

*“punto di rammollimento” (a circa 700 °C), al quale il materiale pur avendo acquisito una maggiore consistenza si deforma ancora sotto il proprio peso;*

*“punto di ricottura”, (a 600 °C), al quale il vetro può rilasciare/attenuare lo stato di stress microstrutturale derivante dalla “solidificazione”;*

*“punto di tensione”,(a circa 500 °C), oltre il quale si può raffreddare velocemente senza che ciò comporti lo sviluppo di tensioni che portino a rotture.*

## ***Il vetro***

---

***Ai fini della lavorazione la presenza nella composizione di PbO abbassa significativamente la temperatura di rammollimento, come può vedersi dai dati riassunti nella Tabella.***

<b>PbO, %</b>	<b>SiO<sub>2</sub>, %</b>	<b>Punto di rammollimento, °C</b>	<b>Indice di rifrazione</b>
<b>21</b>	<b>63</b>	<b>625</b>	<b>1.54</b>
<b>58</b>	<b>35</b>	<b>580</b>	<b>1.97</b>

## *Il vetro*

---

*Con queste indicazioni è possibile capire e tratteggiare le varie tecniche di lavorazione impiegabili per la realizzazione delle lastre.*

*Si hanno:*

*Laminazione con rullo di una colata; **si operava con getti fino a 10 kg**, il tempo di **rullaggio era inferiore a un minuto**, il raffreddamento richiedeva oltre una settimana; era richiesta infine la molatura delle superfici e la politura finale con feltri;*



## *Il vetro*

---

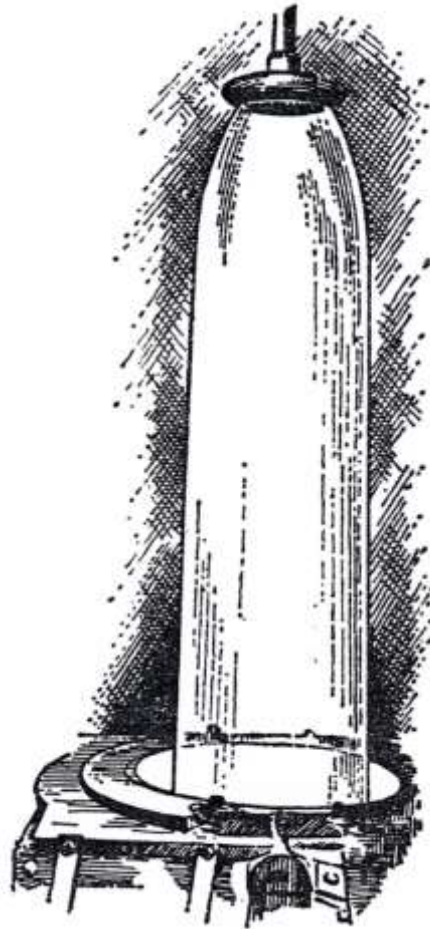
*Soffiatura di una bolla successivamente spianata e rifilata; lasciava nella parte centrale un inconfondibile rigonfiamento (occhio di bue); rispetto alla laminazione col rullo consentiva in genere una migliore qualità della superficie e di risparmiare le fasi di molatura e politura;*



## *Il vetro*

---

*Soffiatura di un cilindro e successiva apertura longitudinale e distensione; adattata alla soffiatura meccanica, per grandi superfici verso la fine dell'800;*



# Il vetro

*Moderna tecnica di laminazione;  
Il "float glass" su bagno di stagno fuso, a partire dal 1959.*

