

3

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

Docente: Dr. Giorgio Pia

Materiali dell'Edilizia Storica

I MATERIALI ARTIFICIALI ANTICHI

La Calce aerea

La Calce

ossido



Calce viva o calce in zolle

idrato



Calce spenta o calce idrata

Contengono impurezze derivanti dalle materie prime o composti (acqua - CO₂ - ceneri) che derivano dal processo di produzione o dalla loro conservazione.

La materia prima per l'ottenimento della calce è quindi la pietra calcarea.

La calce "viva" corrisponde all'ossido CaO e si ottiene semplicemente per decomposizione termica della calcite, a temperature di circa 850÷950 °C



A temperature più elevate si otterrebbe calce stracotta o cotta a morte.

Rocce carbonatiche costituite da dolomite, il carbonato doppio di calcio e magnesio, sono soggette a calcinazione, con formazione di MgO a temperatura inferiore di qualche centinaia di gradi. Si parla in questi casi di calci magnesiache.

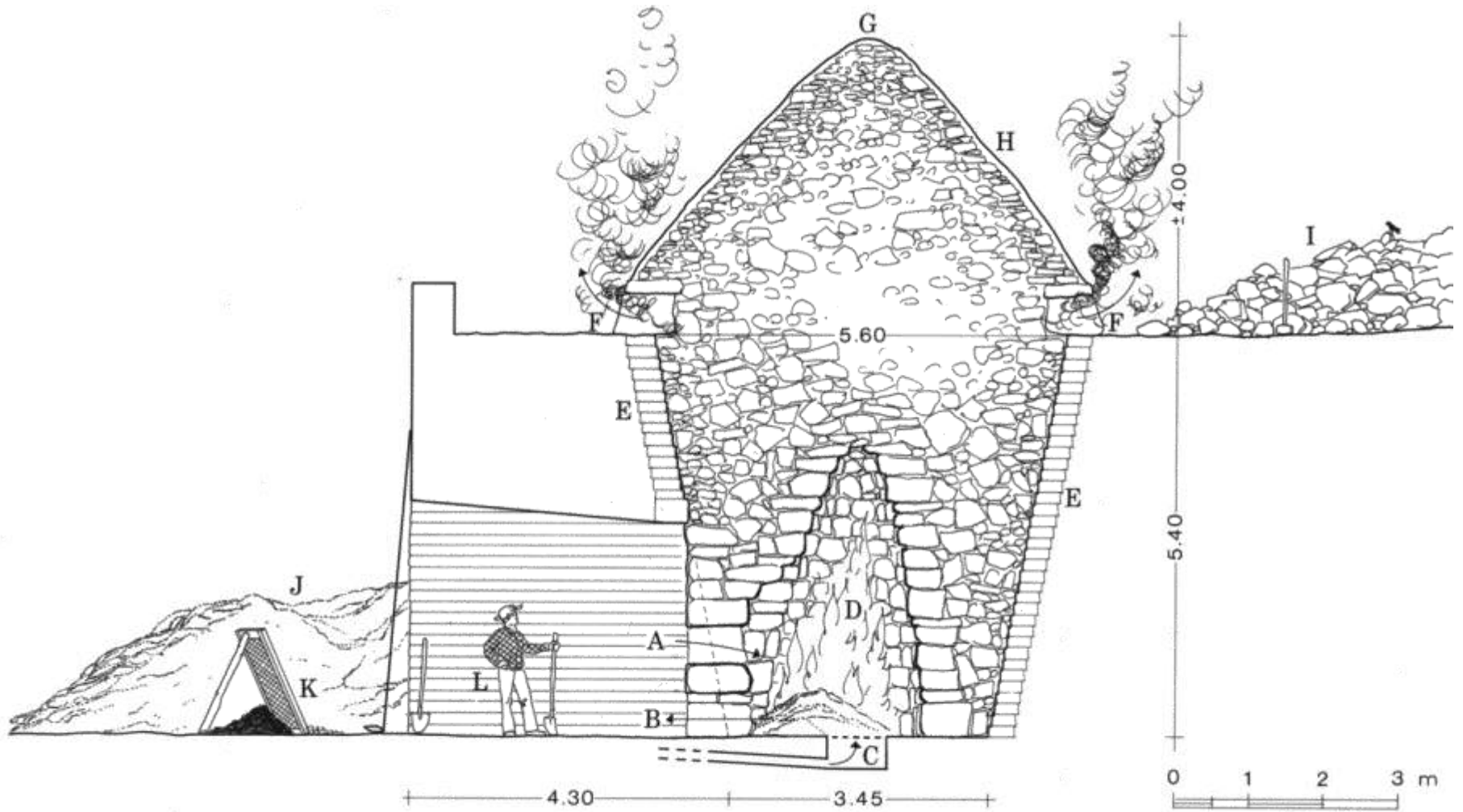
*Anche la tecnologia della produzione della calce si è mantenuta **costante per millenni**.*

*Per la cottura, generalmente, si utilizzavano **frammenti** di calcare di dimensione di una **decina di centimetri**, **impilati in strutture verticali** di modo che si potesse avere un'agevole circolazione dei gas caldi di combustione derivanti o da un focolare separato, localizzato nella parte bassa del forno, o derivanti da **strati di materiale combustibile**, quale **legno e carbone**, **alternati a quelli di calcare**.*

Le prime applicazioni della calce vengono attualmente fatte risalire al XII millennio a.C., nel Vicino Oriente, mentre in Europa, nei Balcani, la prima applicazione documentata è del VI millennio a.C.

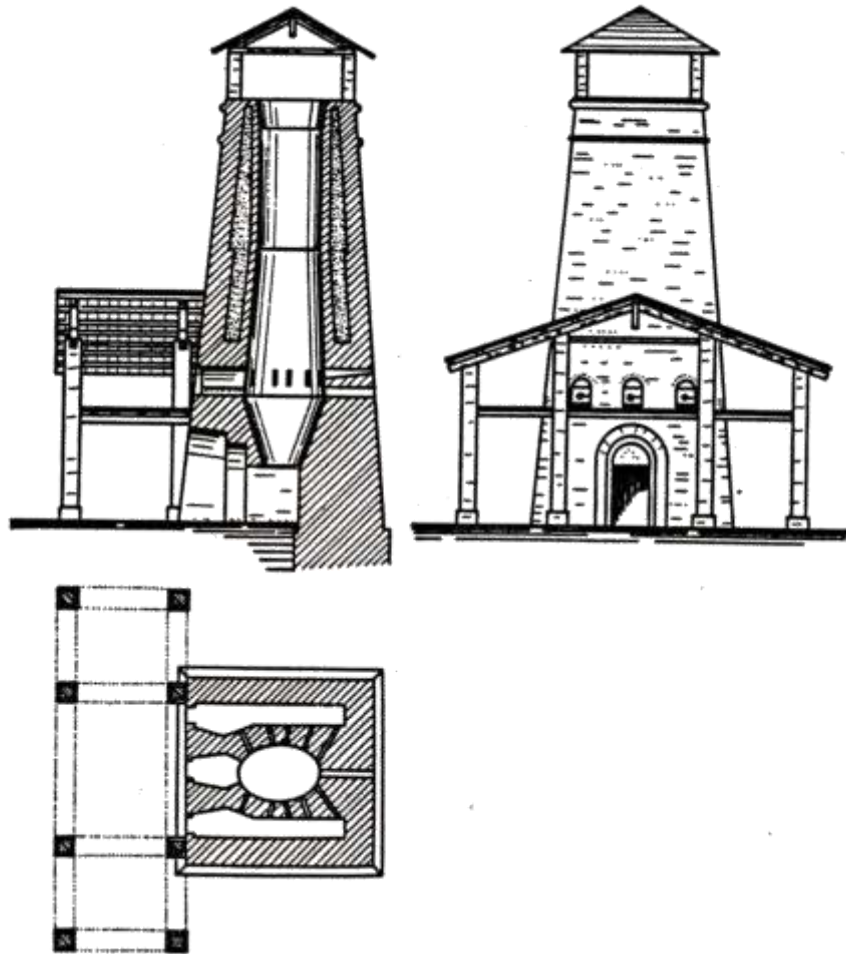
Strutture interpretate dagli archeologi come forni da calce sono state riscontrate in numerosi siti neolitici del Vicino Oriente.

Forni



Forni del XIX secolo.

Forni



Forni del XX secolo.

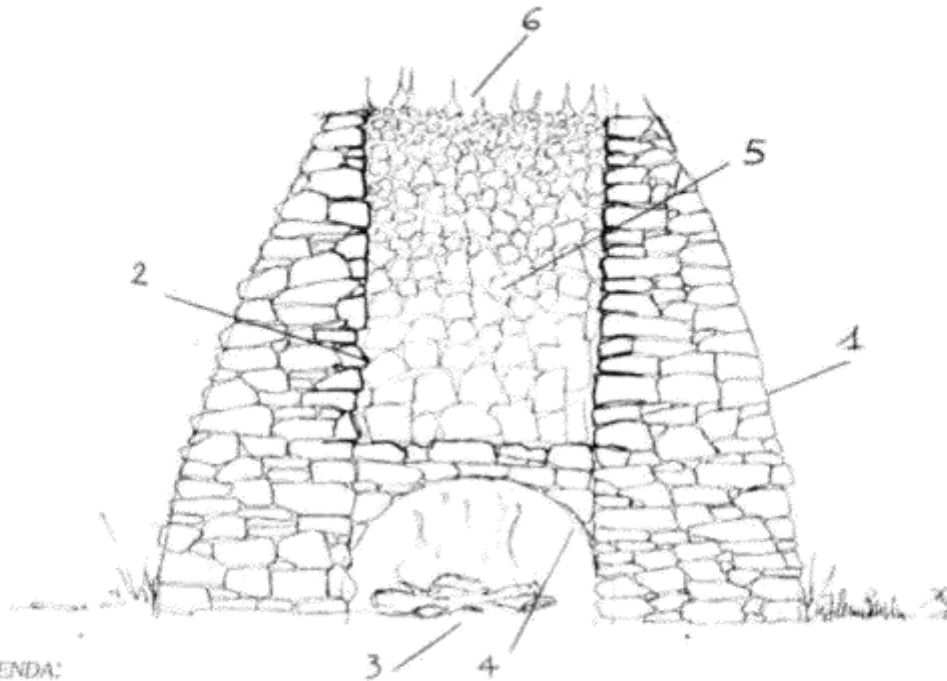
La Calce

Forni



Forni per la produzione della calce in provincia di Sassari (sino al XX secolo).

Forni



LEGENDA:

1. muro a secco di contenimento
2. fornace cilindrica: altezza m. 4, diametro m. 2,50
3. bocca di fuoco e di estrazione della calce
4. centina di carico
5. minerale calcareo
6. fiamma di color azzurro chiaro; indice di cottura ultimata.

Schema di un forno per la produzione della calce.



Fortemente esotermica

Con quantità d'acqua in eccesso.

Almeno 24 ore anche se il processo di invecchiamento migliora la qualità e può durare da qualche mese sino a tre anni. Si ottiene il grassello.

Rendimento in grassello: rapporto tra il volume del grassello nel momento in cui comincia a fessurarsi in superficie e la massa di calce viva utilizzata per produrlo [m³/t].

***Calci grasse:** rendimento in grassello maggiore 2.5 m³/t. Sono più pregiate e perché danno grasselli più plastici, facilmente mescolabili con la sabbia e consentono una migliore adesione.*

***Calci magre:** rendimento in grassello maggiore 1.5 m³/t.*

Un abbassamento del rendimento può essere causato da valori di temperatura di cottura o troppo alti (granuli grossi e poco porosi) o troppo bassi (CaCO₃ indissociato).



Fortemente esotermica

Con quantità d'acqua stechiometricamente necessaria.

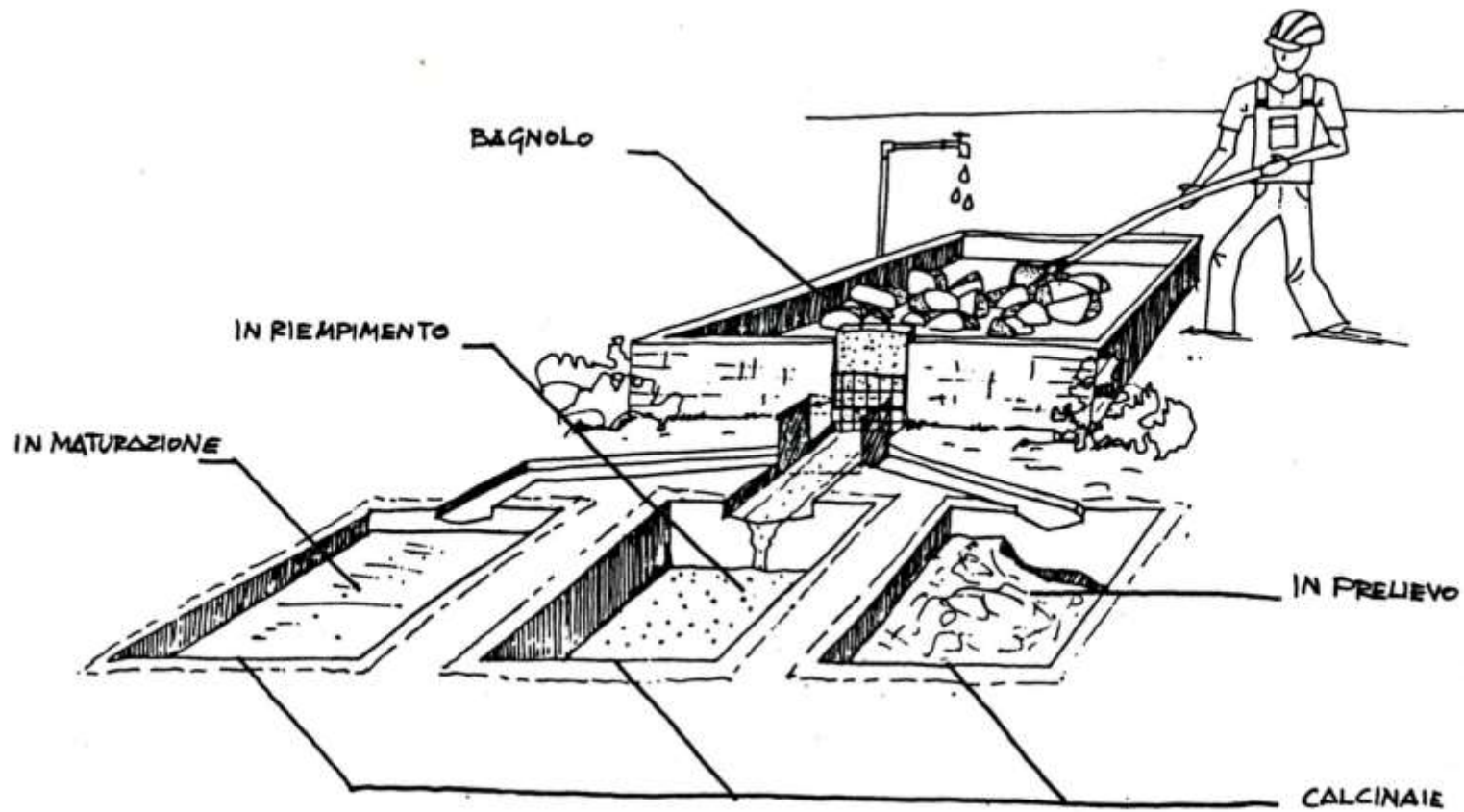
La calce viva viene frantumata in pezzatura di 5÷10 mm e si trova all'interno di tamburi girevoli dove viene spruzzata l'acqua.

L'aumento di volume dovuto alla reazione fa sì che la calce si disintegri generando una polvere molto fine.

Aggiungendo dell'acqua si ottiene anche in questo caso il grassello che però ha delle proprietà di plasticità inferiori a quelle che presenta un grassello ottenuto direttamente per spegnimento della calce viva.

La Calce

Lo spegnimento





Reazione di carbonatazione.

I prodotto finale dell'idratazione è identico a quello di partenza.

La CO₂ comincia a carbonatare la calce a partire dagli strati più esterni per poi procedere man mano verso quelli più interni con cinetiche che dipendono anche dal grado di compattezza del materiale posto in opera. La reazione può richiedere tempi lunghissimi (secoli) per completarsi nello spesso nucleo delle murature.

Il grassello non è mai utilizzato tal quale, ma viene addizionato alla sabbia la cui funzione è molteplice:

- fa sì che la pasta si disponga in sottili strati attorno ai suoi grani, perciò la carbonatazione può interessare questi strati completamente;***
- impedisce il ritiro della malta indurita a seguito dell'evaporazione dell'acqua e alla riduzione di volume conseguente alla reazione di carbonatazione.***



Reazione di carbonatazione.

I prodotto finale dell'idratazione è identico a quello di partenza.

La porosità della malta è di circa 30÷45% in funzione della granulometria della sabbia e del costipamento. Questa si riduce con l'idratazione della calce stessa.

Se però il risultato finale è una matrice impermeabile allora la carbonatazione procede lentamente (incompleta).

Nel secondo caso l'eccesso di pori comporta un calo delle prestazioni meccaniche. In generale la resistenza a compressione di una malta è di circa 1 MPa.

Materiali dell'Edilizia Storica

I MATERIALI ARTIFICIALI MODERNI

La Calce Idraulica

Si può distinguere in:

1



Calci idrauliche vere e proprie
ottenute per cottura di calcari argillosi o da miscele di calcari e argille;

2



Calci idrauliche attualmente in commercio
costituite da cemento portland e filler;

3



Calci idrauliche
ottenute per aggiunta alla calce aerea di materiali pozzolanici

Si può distinguere in:

1



Calci idrauliche vere e proprie

ottenute per cottura di calcari argillosi o da miscele di calcari e argille;

Per riscaldamento di miscele di **calcare e argilla** a temperature superiori a 900 °C si ottiene un legame idraulico per la presenza di silicati e alluminati di calcio.

In presenza di acqua questi reagiscono e formano:

Silicati idrati di calcio e Alluminati idrati di calcio.

Si può distinguere in:

2



Calci idrauliche attualmente in commercio costituite da cemento portland e filler;

Oggi la calce è ottenuta miscelando del cemento portland con materiale (generalmente calcareo) inerte macinato finemente (filler) e un additivo aerante.

Il primo assicura prestazioni meccaniche, porosità, modulo elastico, etc. simili alla calce originale, mentre il secondo migliora la lavorabilità (intonaci).

Si può distinguere in:

3



Calci idrauliche

ottenute per aggiunta alla calce aerea di materiali pozzolanici

La miscelazione di calce aerea con materiali pozzolanici costituiti prevalentemente da **silice e allumina sviluppa le proprietà idrauliche del materiale una volta posto a contatto con l'acqua.**

Questo tipo di calce è di notevole importanza storica. Ancora oggi si conservano strutture realizzate ad esempio 2000 anni fa dai Romani.

3



Pantheon, Roma.

3



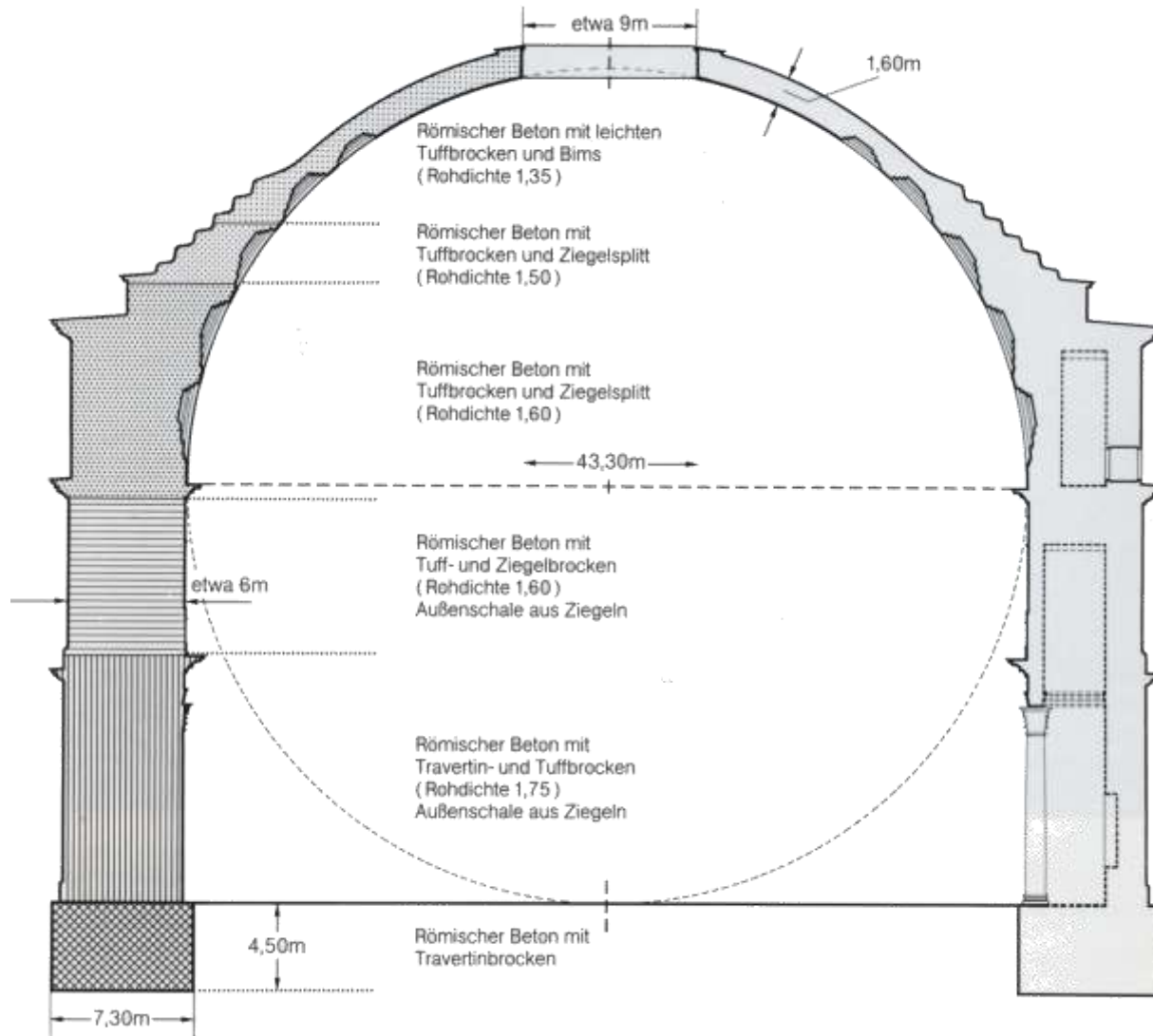
Cupola del Pantheon.

3



Cupola del Pantheon.

3



Sezione del Pantheon.

Nelle migliori condizioni una malta di calce aerea può avere una resistenza a compressione compresa tra 3 e 9 MPa.

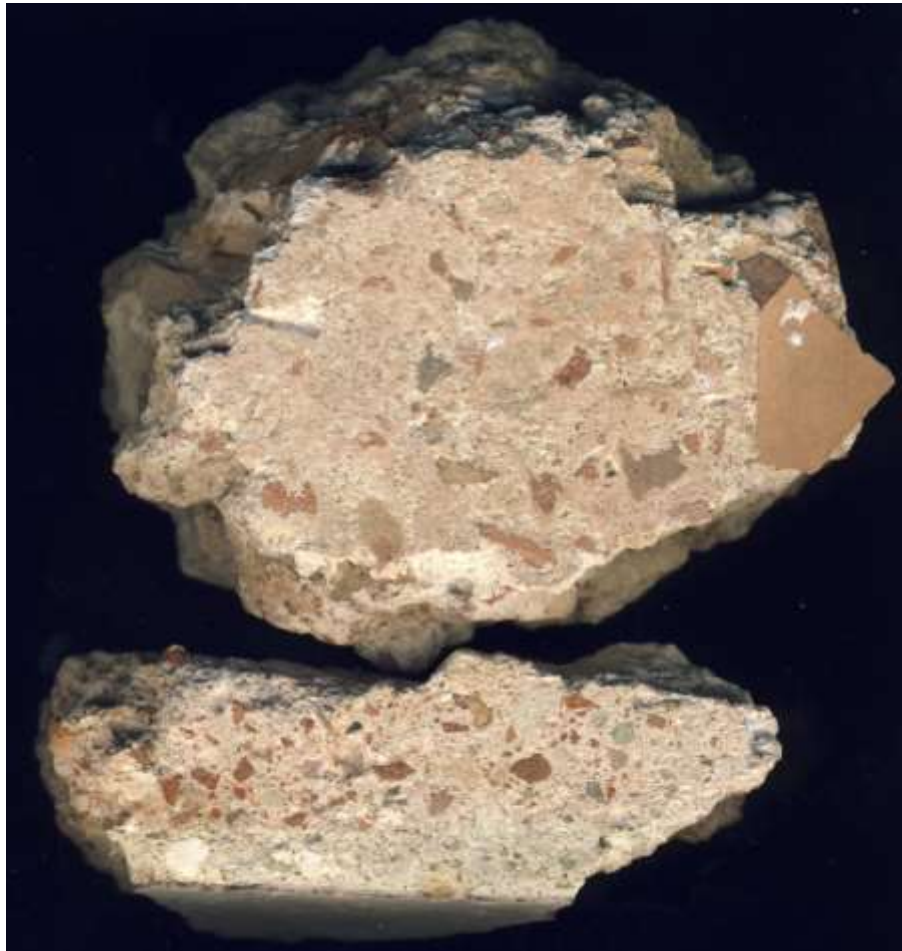
Questi valori sono molto inferiori rispetto ad una malta di cemento portland compresi tra 10 e 40 MPa.

Alcuni studi, ad esempio su malte impiegate nella realizzazione del “Vallo di Adriano” in Gran Bretagna, hanno fatto supporre che nella pratica venissero calcinate dai Romani anche pietre con un certo tenore di componente argilloso, e che in questi casi si finisse per realizzare calci dotate di un intrinseco carattere idraulico, per formazione accanto al CaO, della belite, costituita prevalentemente da β - 2 CaO SiO₂

*Il $6-2 \text{ CaO SiO}_2$ è un composto **idraulicamente attivo**, che si forma a temperature non troppo alte, e che reagendo con l'acqua, seppure con una cinetica (velocità) lenta, **sviluppa neoformazioni di silicati di calcio idrati di buone e stabili capacità leganti**, di composizione stechiometrica non perfettamente costante, indicati come C-S-H. L'altro composto idraulicamente attivo ottenibile alle stesse temperature è l'alluminato di calcio che per reazione con l'acqua dà origine a degli alluminati di calcio idrati (C-A-H).*

Il Cocciopesto

Un granulato costituito da frammenti di terracotta veniva impiegato in antico in associazione (mescolato) alla calce; è quello che nella tecnica costruttiva dei Romani, che ne fecero larghissimo uso, è detto “cocciopesto”.



Ceramici

Il Cocciopesto

L'origine della tecnica risale perlomeno (ai primi tempi Ellenistici), e sopravvisse nella pratica costruttiva alla fine della civilizzazione romana; ad esempio lo si riscontra sistematicamente nella realizzazione dei Bagni ottomani nel XIV e XV secolo. Questo materiale era chiamato Horasan in Turchia, Surkhi in India e Homra in Arabia.

Campione	SiO₂, %	Al₂O₃, %	Fe₂O₃, %	CaO, %	Na₂O+K₂O,%
Mattoni di attuale produzione in Italia	51÷73	12.2÷21.2	4.2÷7.8	0÷24	2.8÷5.8
Ceramica gallo-romana, da Lione, I secolo a.C÷I d.C.	73.9	16.63	5.32	1.26	1.56
Anfore romane, tipo Dressel25, da Padova	55÷68	15÷18	7÷8	5÷16	2÷2.5

Corso di Tecnologia dei Materiali ed Elementi di Chimica

Il Cemento

***“Il cemento armato è il più bel sistema costruttivo
che l’umanità abbia saputo trovare fino ad oggi.
Il fatto di poter creare pietre fuse, di qualunque forma,
superiori alle naturali poiché capaci di resistere a tensione,
ha in sé qualcosa di magico”***

**Nervi P.L., Costruire correttamente,
caratteristiche e possibilità delle strutture
cementizie armate, 1965.**



Il Cemento

Considerazioni generali

Il cemento è un legante idraulico finemente macinato che mescolato all'acqua forma una pasta che rapprende ed indurisce a seguito di reazioni di idratazione.

L'uso principale è quello della fase legante del calcestruzzo armato e precompresso.

Nel 1990 in Italia il consumo procapite è stato di 678 kg/anno,
Negli Stati Uniti di 342 kg/anno e in Inghilterra di 265 kg/anno

Il Cemento

Il Cemento Portland

È la base per la realizzazione della maggior parte dei cementi oggi utilizzati.

Si ottiene per macinazione del prodotto di cottura (clinker) e l'aggiunta di piccole percentuali di gesso.

Il Cemento

Storia ed evoluzione

1756

L'inglese John Smeaton fu incaricato di ricostruire il faro di Eddystone. Avendo la necessità di utilizzare leganti particolarmente resistenti e trovando inadeguate le calce allora commercialmente disponibili, utilizzò dei calcari contenenti oltre il 10% di argilla e "cuocendo a fiamma molto forte".

1791

John Smeaton pubblica i risultati delle sue ricerche.

1818

Oltremania fu Luis Vicat che riconobbe esplicitamente il ruolo dei componenti delle argille.

Il Cemento

Storia ed evoluzione

1850

Bisognerà arrivare alla metà dell'800 per avere consapevolezza, con l'attività dei figli di Aspidin e del loro rivale Charles Johnson, del ruolo critico che le alte temperature hanno nella conseguente formazione di una fase liquida, tramite indispensabile per la formazione dell'alite.

1850

Nasce anche la prima fabbrica di cemento in Francia, dove nei successivi decenni prevalse peraltro la produzione di calce idrauliche piuttosto che di cementi artificiali.

1918

La chimica del cemento essendo basata su composti di stechiometria di non facile definizione e di forma fisica micro e nano cristallina, non è affatto semplice, ed a maggior ragione sorprende che ancora una volta si sia giunti ad importanti sviluppi industriali su basi in larga parte empirica. Il primo incontro internazionale nel quale si avviò il chiarimento di questa complessa materia venne fatto a Londra nel 1918 (pubblicazione del 1919).

La Produzione del Clinker

Il Cemento

Il Cemento

Produzione del Clinker

1

Materie prime: miscela di argilla, calcare e sabbia con piccole aggiunte di gesso e eventualmente di altri materiali (pozzolane, microsilice, ceneri volanti, loppa d'altoforno, etc.)

CaCO_3 + silicati idrati di alluminio (argille)

Per ottenere 1000 kg di Clinker sono necessari più di 1500 kg di materie prime

La scelta delle materie prime condiziona il prodotto finale

Le cave vengono coltivate secondo delle procedure ben stabilite

La vita utile di una cementeria è conosciuta ed è funzione delle cave che la alimentano











Il Cemento

Produzione del Clinker

2

Le materie prime vengono macinate ed omogeneizzate. La sua produzione prevede l'utilizzo di una miscela materie prime costituite da calcare e argilla che devono essere macinate in modo da ottenere una granulometria al 90% pari a 90 micron.

Le materie prime vengono frantumate in cava e successivamente macinate

L'umidità fa sì che le parti fini non possano essere trascinate dai gas di combustione

La farina ottenuta viene inumidita ed alimenta il forno.

La miscela viene caricata nella parte alta di un forno cilindrico rotante ($d = 3-6 \text{ m}$, $l > 100 \text{ m}$).



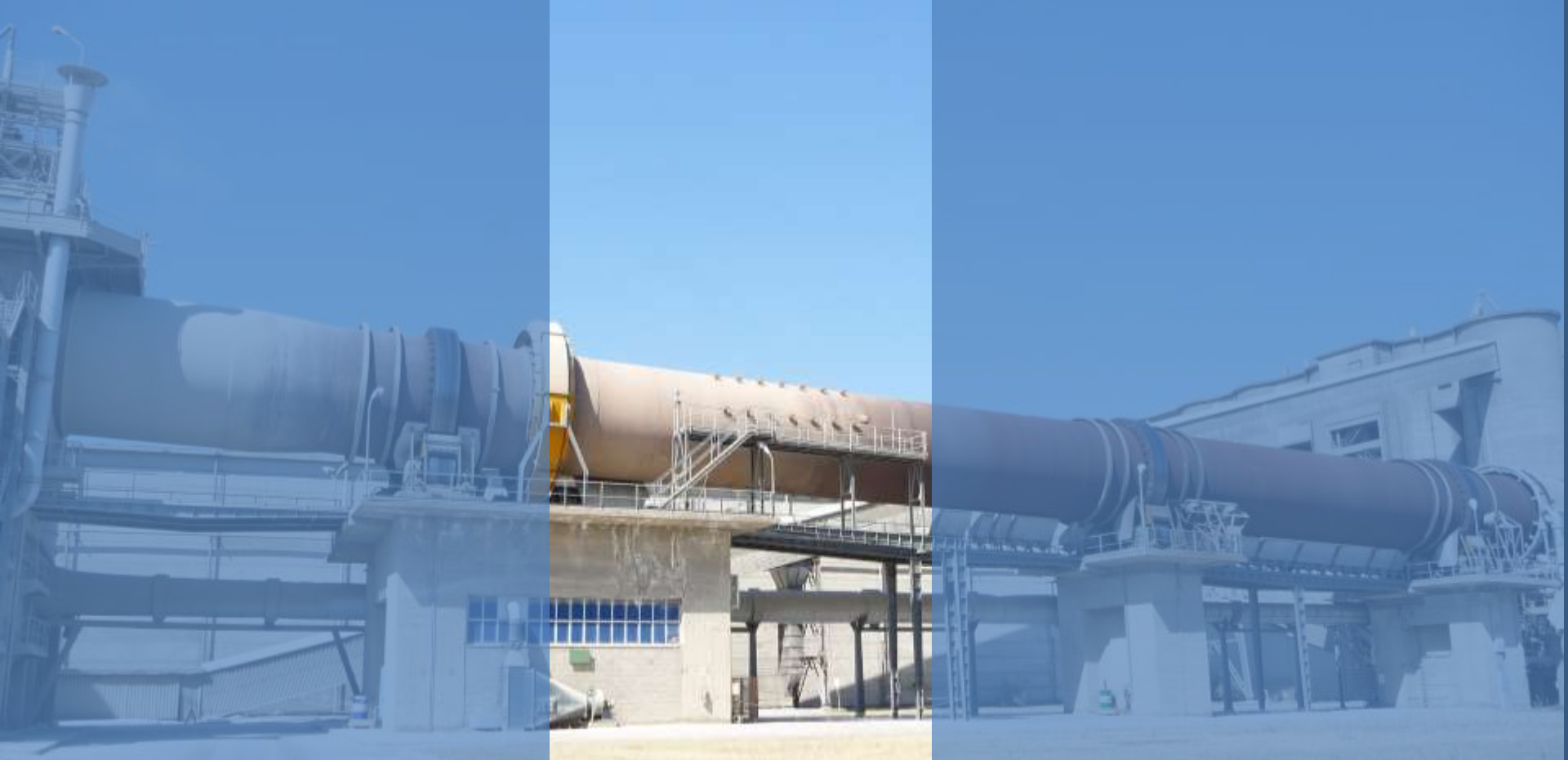




Circa a 100°C viene persa l'acqua presente nelle materie prime.



A 500°C dall'argilla si libera l'acqua di cristallizzazione.



A partire da 600°C, il calcare si dissocia in calce e anidride carbonica.



***Al di sopra di 900-1200°C il materiale secco comincia a dar luogo ad alcune reazioni chimiche che formano silicato bicalcico:
 $2\text{CaOSiO}_2 - \text{C}_2\text{S}$***



A temperature superiori a 1250°C questo reagisce con calce formando il silicato tricalcico: $3\text{CaOSiO}_2 - \text{C}_3\text{S}$.

Questa reazione si completa a temperature attorno a 1450°C, alle quali il materiale rimane per circa 15 minuti.