

1: Dalla pietra ai ceramici avanzati

- Materiali del Costruito: dal concotto al calcestruzzo

Terra

Laterizi

Tecniche Murarie

Concotto

Leganti

Gesso

Leganti aerei

Reazioni idrauliche

Leganti idraulici

Cemento

Terra

Ziguratt sumero del 13°sec BC, Iran.



Moschea Dienn, Mali.



Strutture in mattoni di “terra cruda” (mud-brick)

Shibam, Yemen: i cosiddetti “più antichi grattacieli del mondo”.



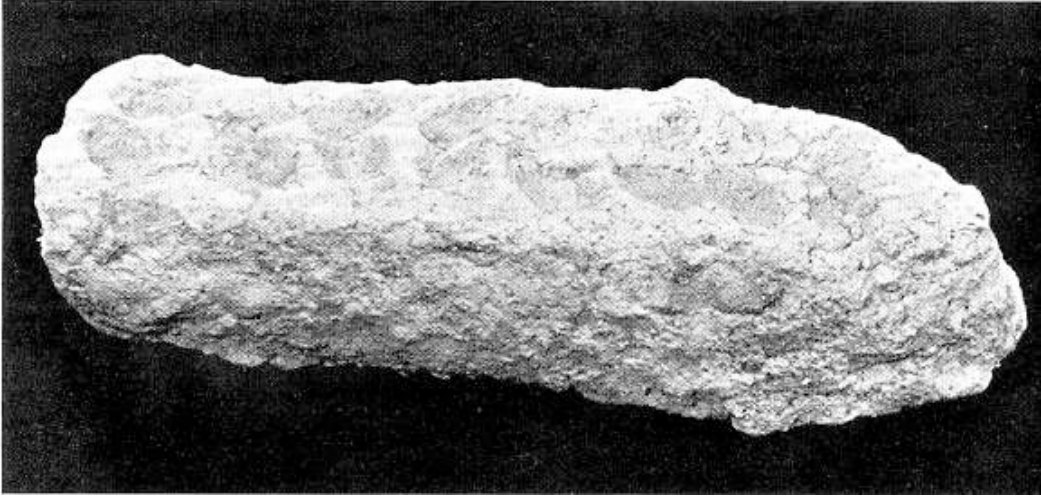
Costruito

Terra



Costruito

Terra-Laterizi

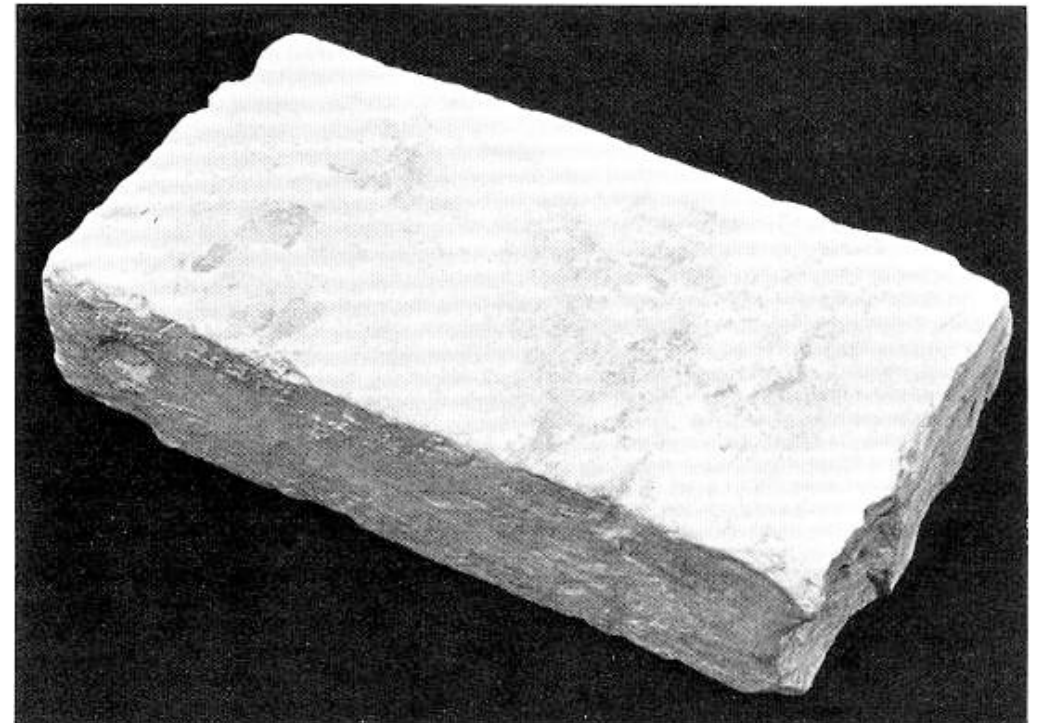


Elemento costruttivo in fango essiccato al sole -
Gerico **7000-9000 a.C.**



Laterizi

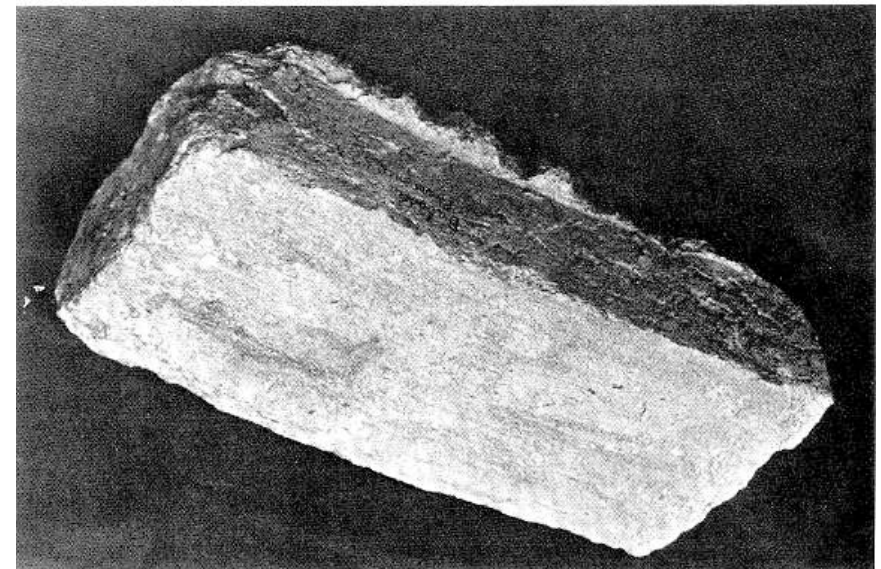
Mattone cotto -
Kalinbangan (India) **3000 a.C.**



Laterizi

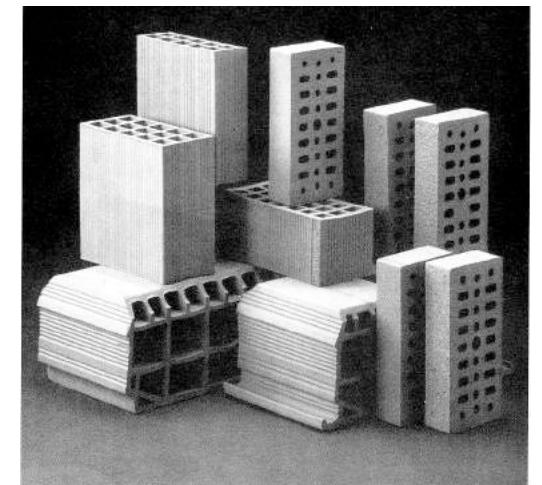
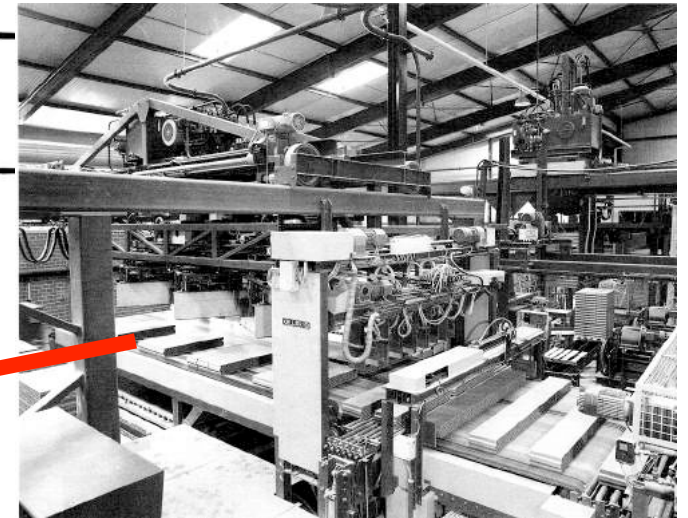
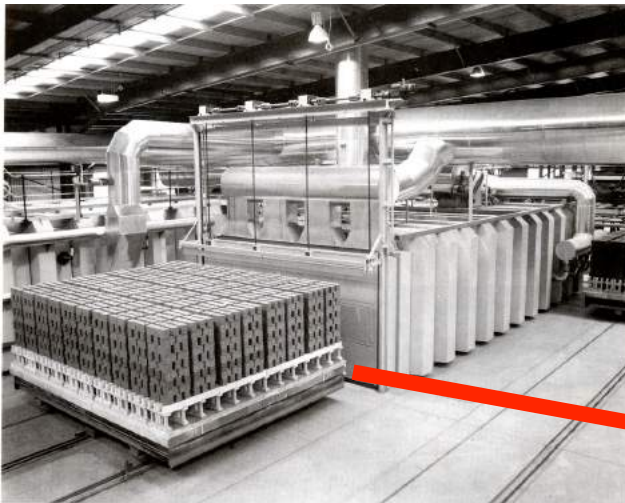
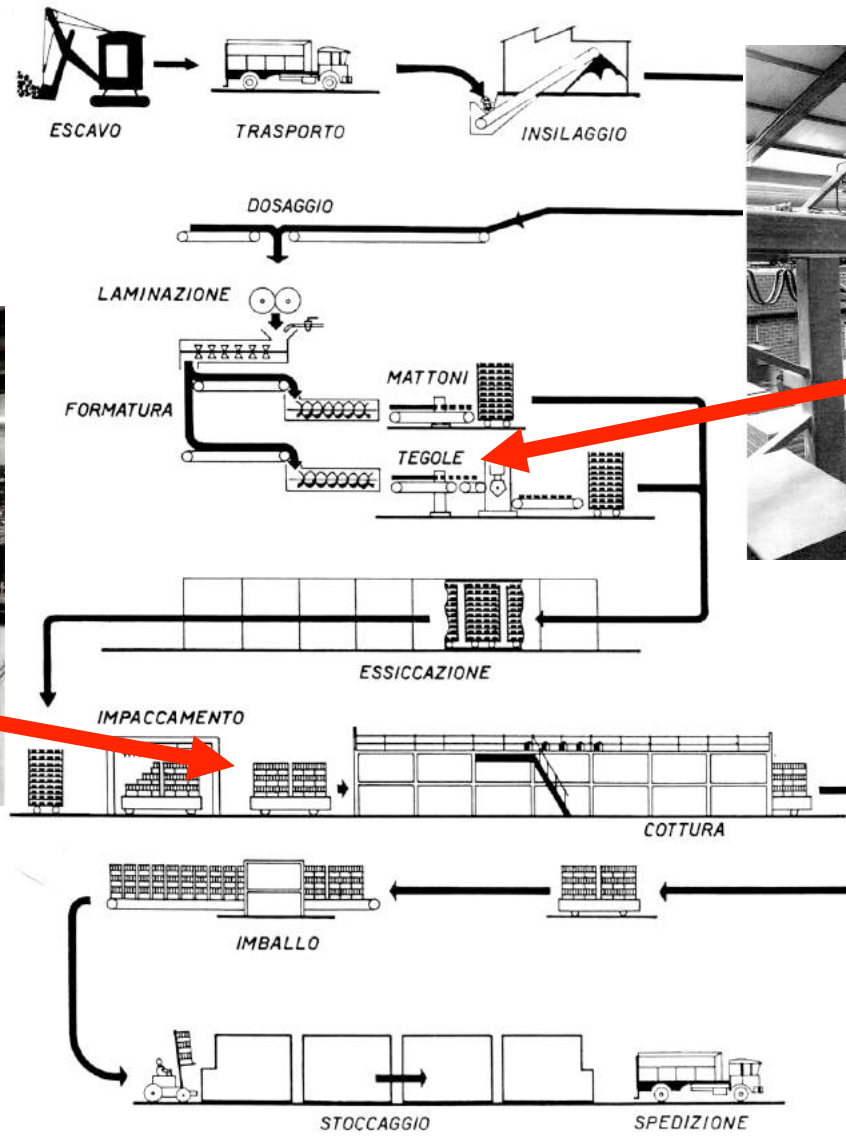


Matteone in terracotta dalla città sumera di Nippur
2000 a.C. ca

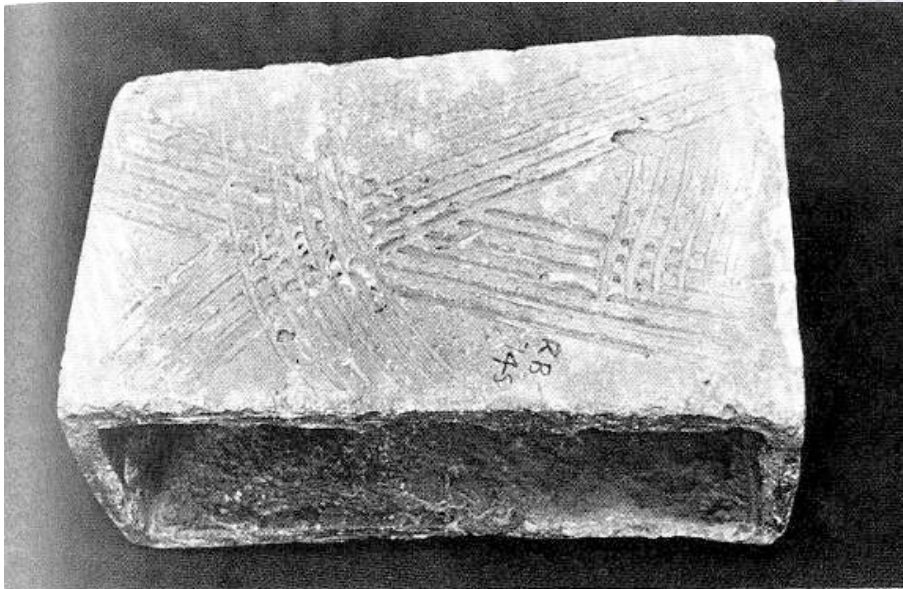


Matteone egizio in terracotta **1000 a.C.**

Laterizi

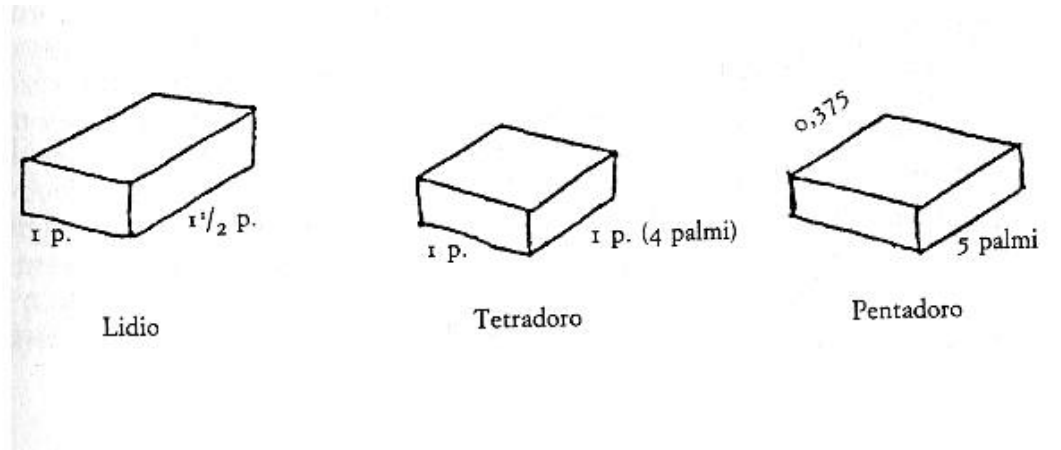


Laterizi



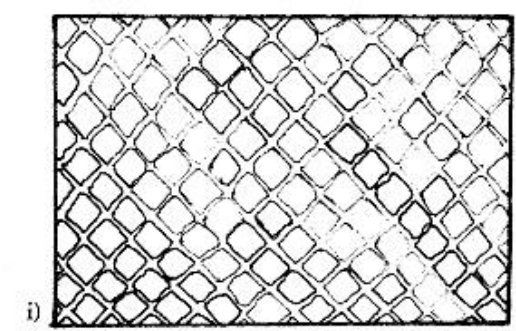
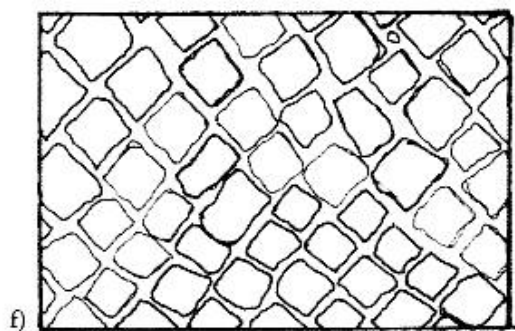
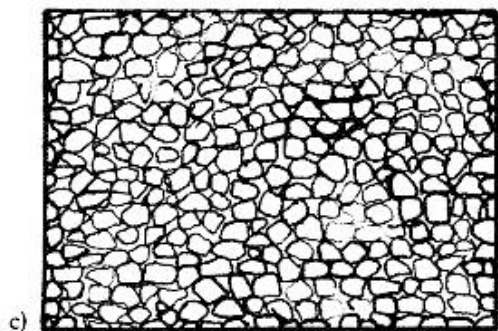
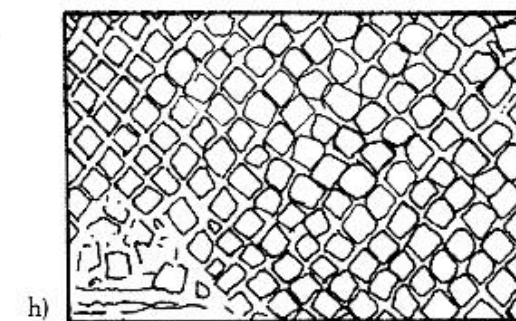
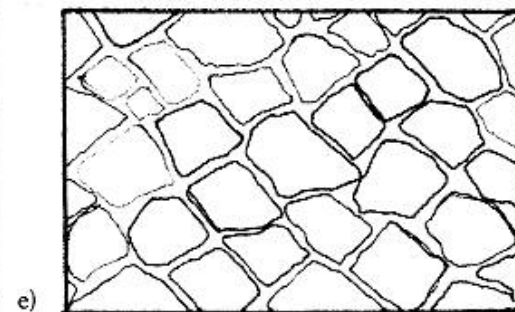
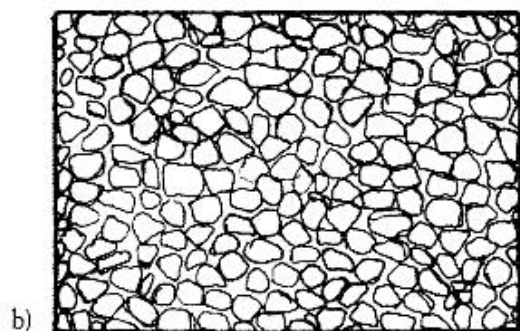
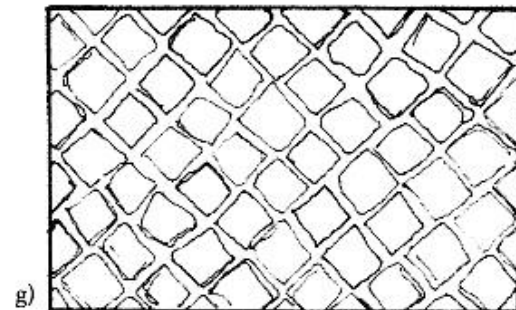
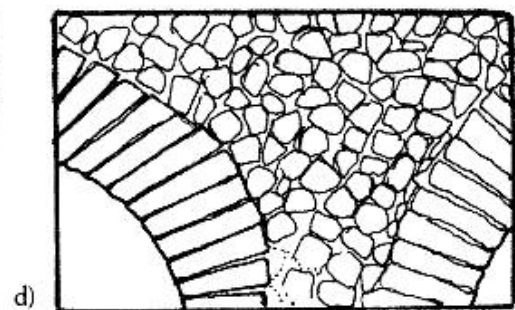
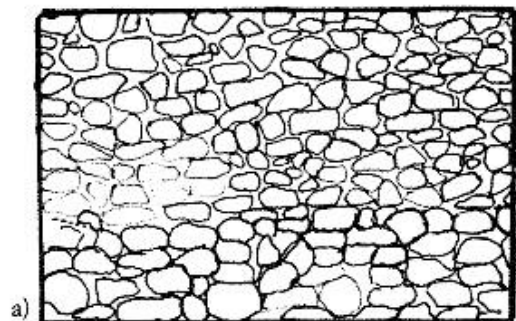
Mattone in terracotta per ipocausto da Bath

I sec. dC

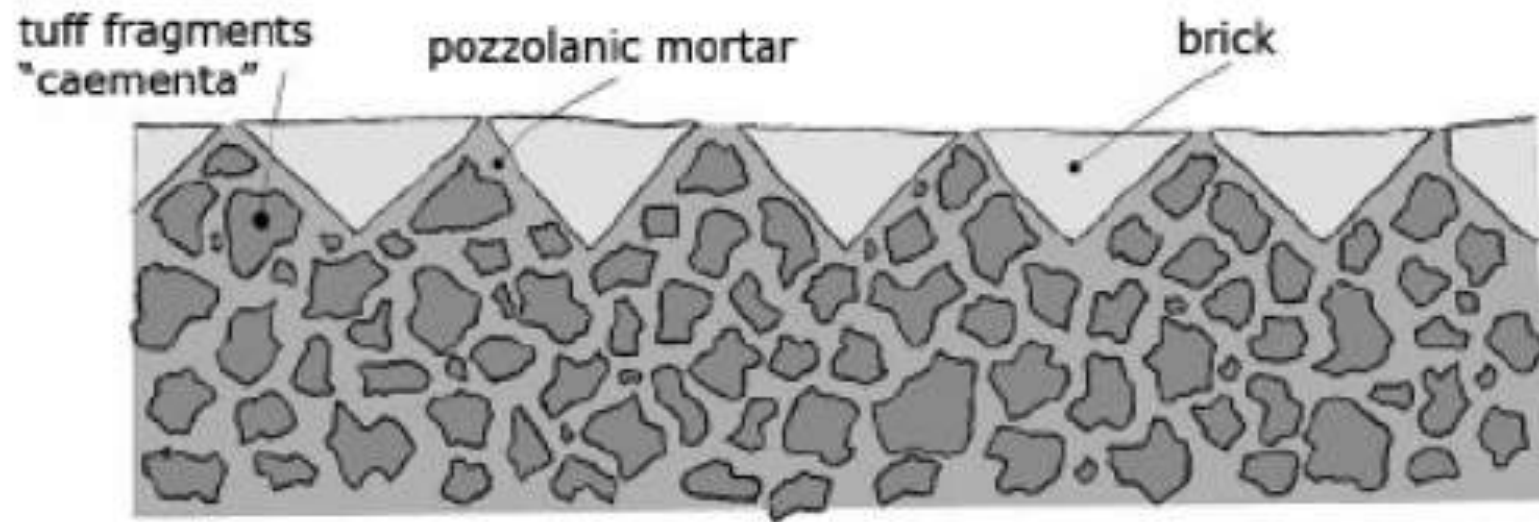


Costruito

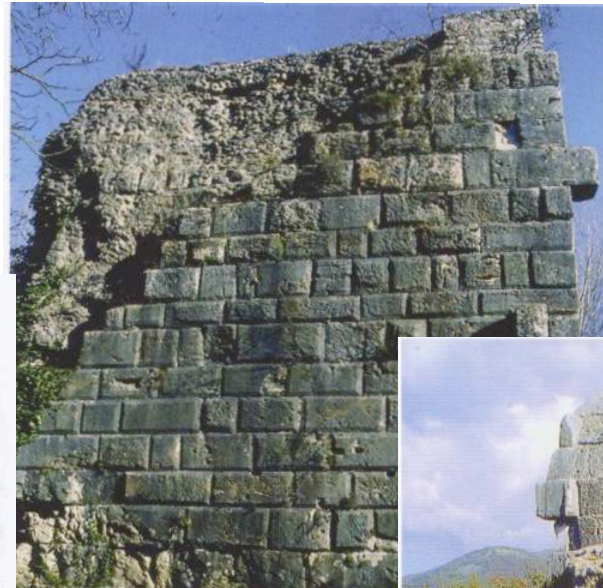
Tecniche murarie



Tecniche murarie

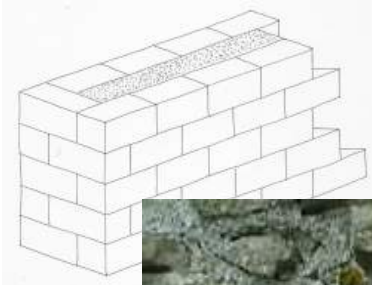


Opus caementicium

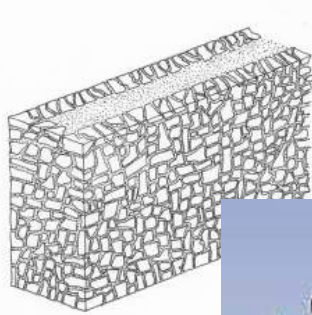


Tecniche murarie

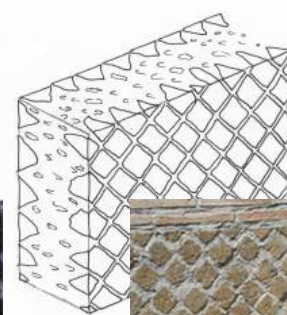
Opus quadratum



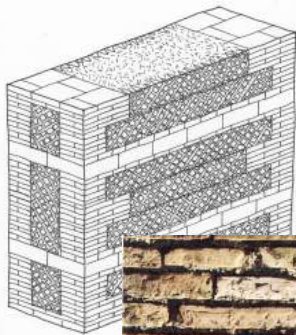
Opus incertum



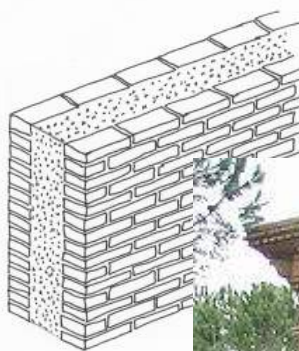
Opus reticulatum



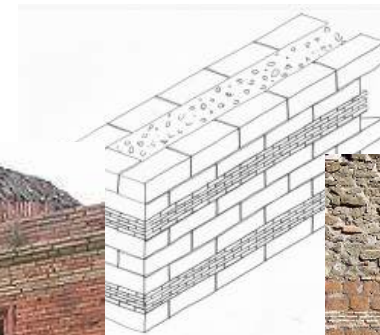
Opus mixtum



Opus latericium



Opus vittatum



Concotto



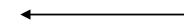
Costruito

Concotto

Frammenti di piano di focolare



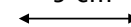
5 cm



Frammenti di forno



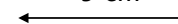
5 cm



Frammenti di intonaco



5 cm



Costruito

Concotto

Impronte di paglia



Lgco1054

1 cm

Impr. fascio vegetale



Lgco543

5 cm

Impronte di intreccio



LGco543

5 cm

Impronte incannucciato



LGco943



5 cm

Impronte di asse



LGco98

5 cm

Impronte di palo

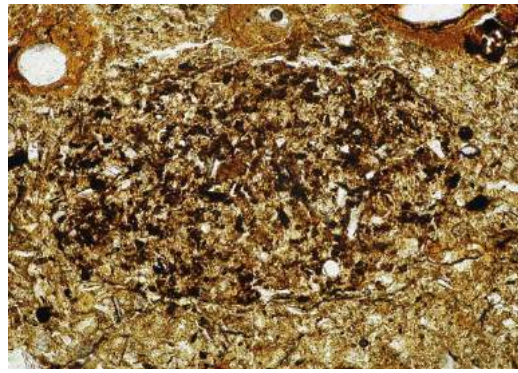


LGco1086



5 cm

Concotto

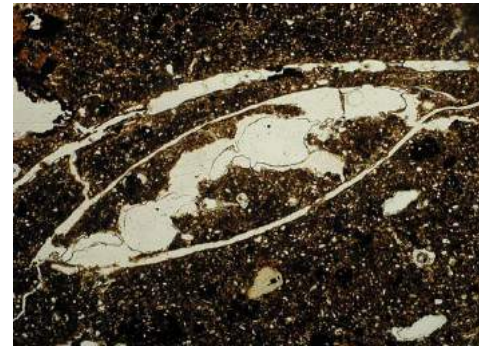


0.5mm

1)

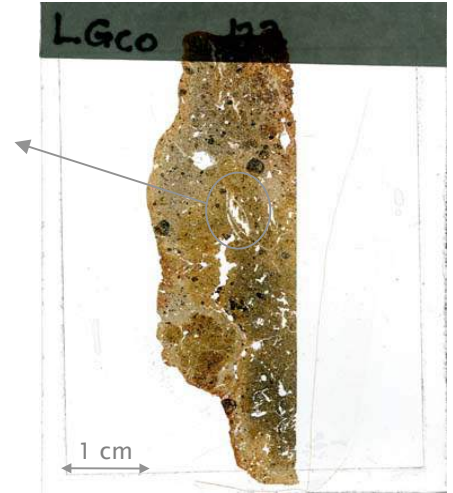


1 cm

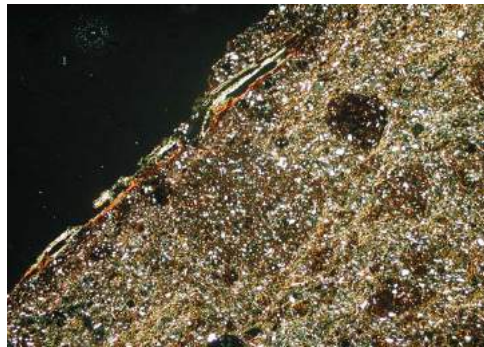


1 mm

2)



1 cm

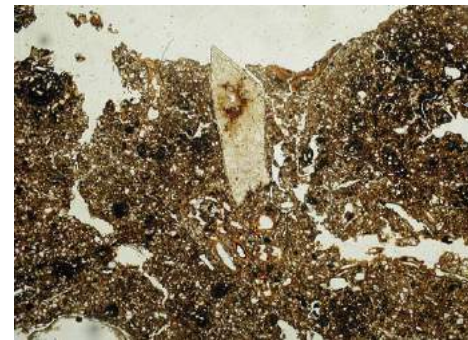


1 mm

3)



1 cm



1 mm

4)



1 cm

Costruito

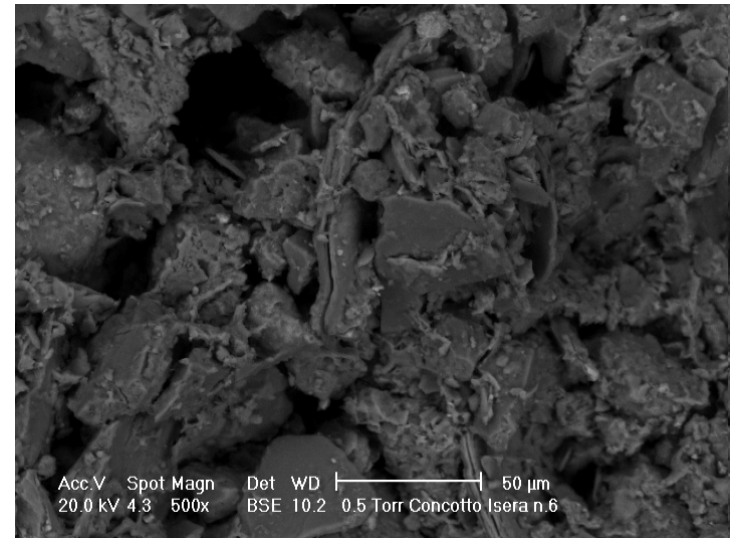
Concotto



Costruzioni

- in ladiri (Sardegna)**
- in pis o in adobe (Piemonte)**
- in massone (Marche e in Abruzzo)**

Concotto



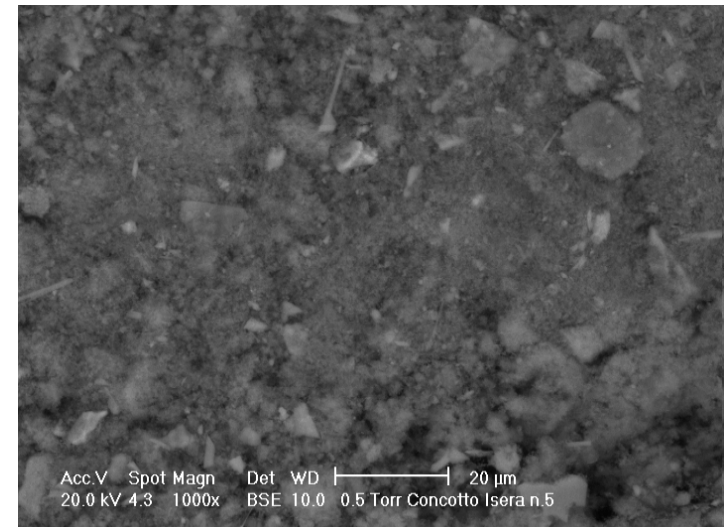
Frammento di concotto con "intonacatura".

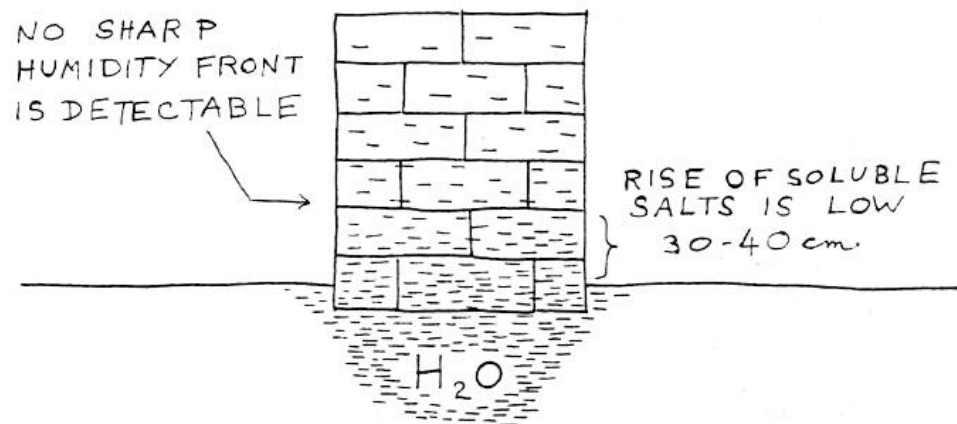
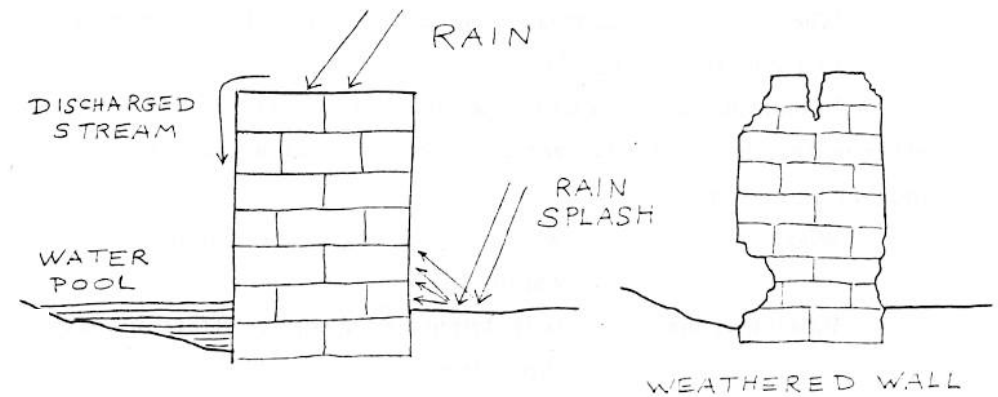
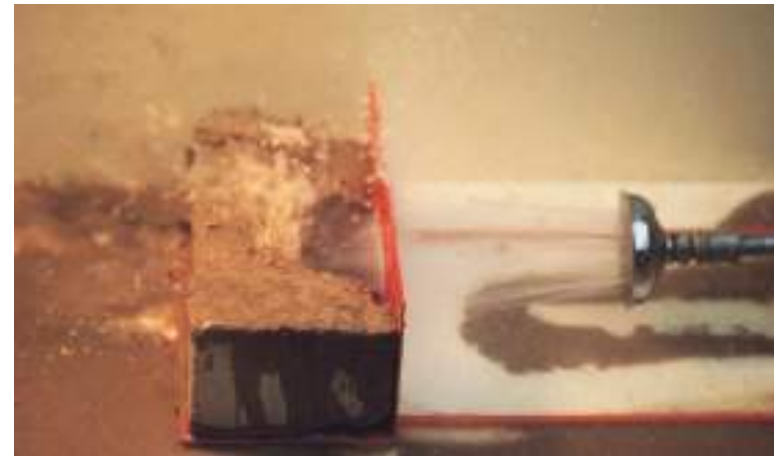
*Sito Isera La Torretta
US43 Neolitico Recente
4300-3800 BC cal*

Unified Soil Classification System	
Name of soil fraction	Grain size
gravel	75–2 mm
sand, very coarse	2–1 mm
sand, coarse	1–0,5 mm
sand, medium	0.5–0.25 mm
sand, fine	0.25–0.125 mm
sand, very fine	0.125–0.075 mm
silt	0.075–0.004 mm
clay	< 0.004 mm

70-80%

20-30%





Terra cruda:

- scarsa resistenza al dilavamento
- risalita capillare

Leganti



Ziggurat of Sialk – 3000 BC

Mattoni essiccati con legante malta di fango e argilla.

Leganti alternativi, nello stesso contesto:

pece o bitume.



Leganti

Gesso - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/n \text{H}_2\text{O}$

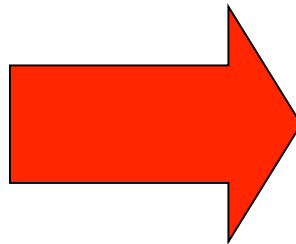
Leganti Aerei:

- Calce aerea - $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
- Grassello di calce - $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$

Leganti Idraulici:

- Calce idraulica - Calcari marnosi
- Cemento Portland - Calcari ed argilla
- Cemento Alluminoso - Calcari e bauxiti
- ...etc

LEGANTI + AGGREGATI



Malte

(aggregati granulometria < 5mm (4.75 mm secondo normativa europea))

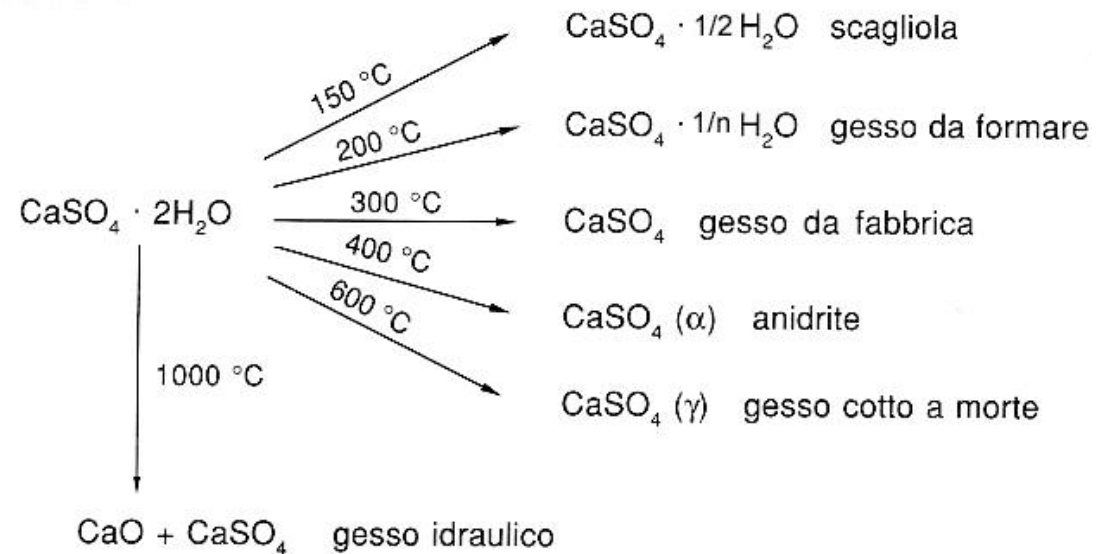
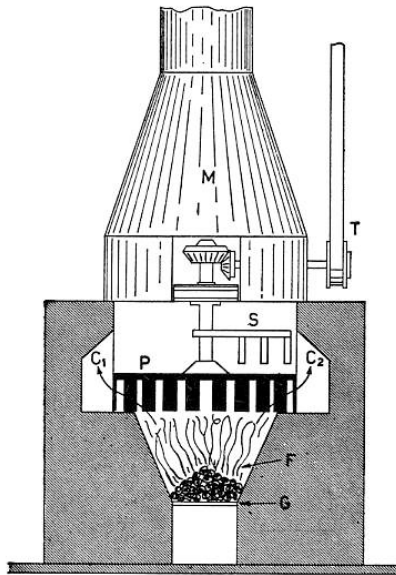
Calcestruzzo

(aggregati granulometria > 5mm)

Costruito

Gesso

GESSO (minerale)

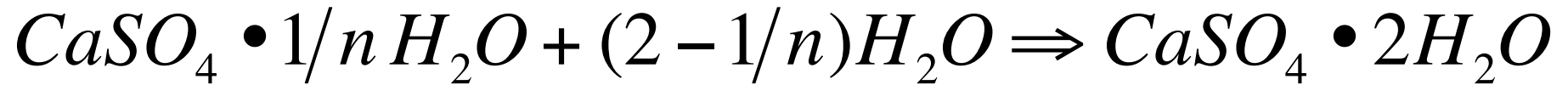


Principali Prodotti:

- **Scagliola o gesso a muro o gesso di Parigi** (presa e indurimento generalmente veloci)
- **Gesso da formare o per in tonaci** (presa e indurimento più lenti della scagliola)
- **Gesso da fabbrica** (presa e indurimento più lenti)
- **Anidrite o gesso per pavimenti** (presa e indurimento ancora più lenti)
- **Gesso cotto a morte e Idraulico** (no presa per idratazione: additivi per cementi)

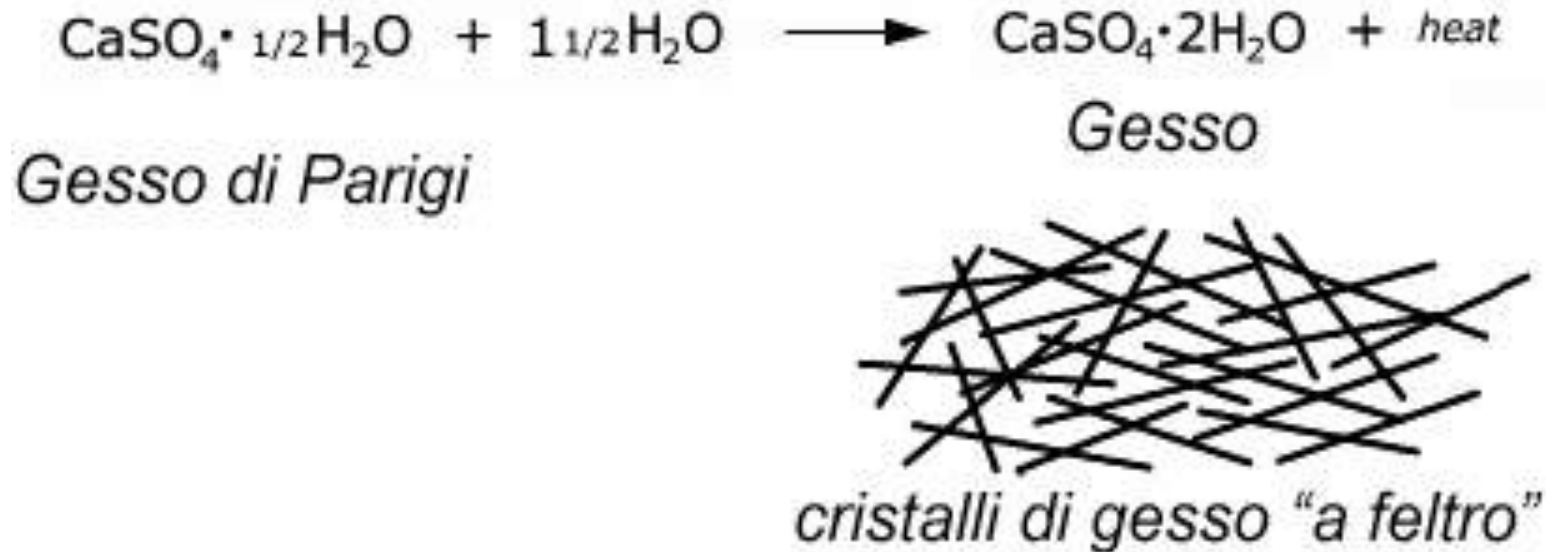
Gesso

Presatura e Indurimento:



Cristallizzazione del solfato di calcio e formazione di struttura tipo feltro dei suoi cristalli aciculari

Esempio: la scagliola (o gesso di Parigi)



Gesso



Vantaggi del gesso:

- Ignifugo- Ritardante
- Bassa densità, ritiro trascurabile
- Consolidato impiego, vista la semplicità di produzione
- Fonoassorbente

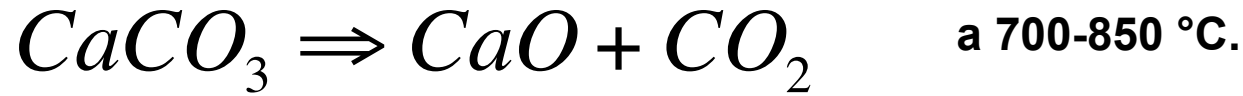
Limiti del gesso:

- Favorisce la corrosione;
- Bassa resistenza meccanica
- **Non resiste all' acqua (dilavabile)**

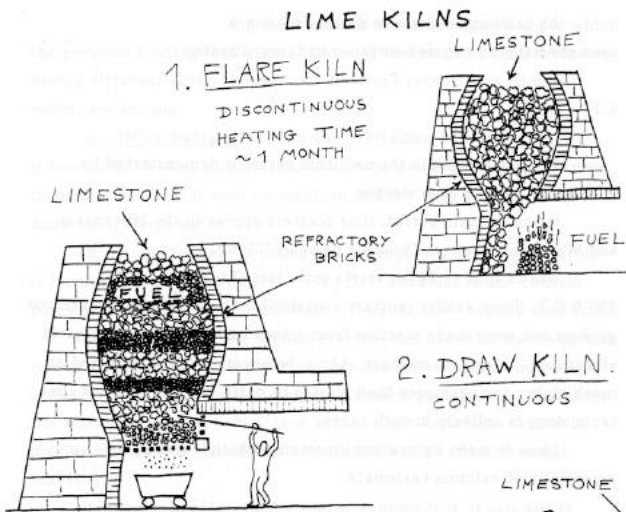
Leganti aerei

CALCE AEREA.

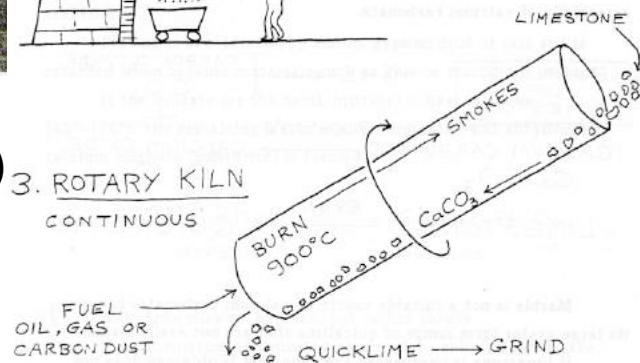
Calcinazione



Forno a fuoco intermittente (XVIII sec.)



Forno a fuoco continuo (XIX sec.)

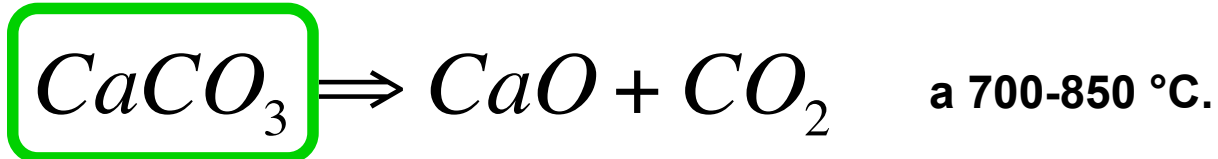


Forno attuale (XXI sec.)

Leganti aerei

CALCE AEREA.

Calcinazione



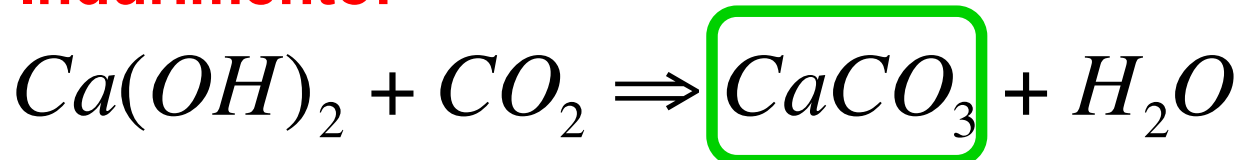
Spegnimento



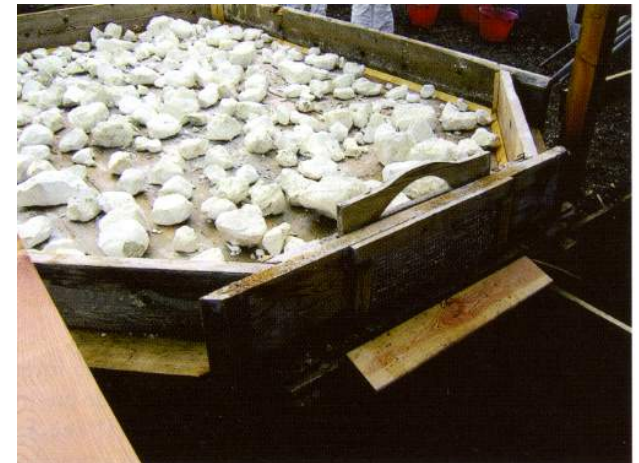
Applicazione:

riempimento, allettamento, intonacatura, etc

Indurimento:



Bagnolo per spegnimento



Bottaccioli in malta pompeiana

Costruito

Leganti aerei

CALCE - alcune date.

4000 aC:

pittura muraria in Palestina ed Anatolia.

1700 aC:

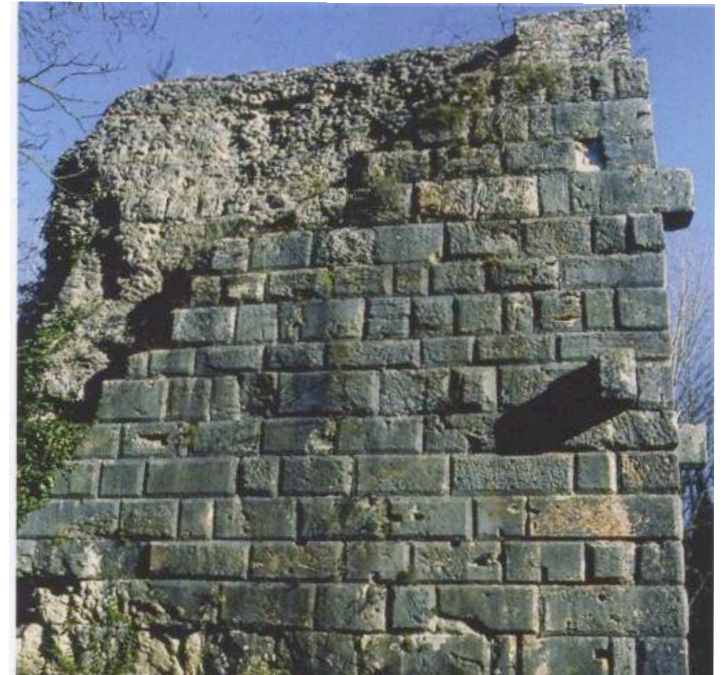
intonaco nel palazzo di Cnosso a Creta

III sec aC:

Roma- giunto tra elementi lapidei (con limitate funzioni strutturali)

Dal III sec aC:

Roma - componente della miscela con pozzolana e frammenti lapidei (*opus caementicium*) nella realizzazione di opere murarie: funzione strutturale!



Leganti aerei

CALCI Magnesiache: $CaCO_3$ con $CaMg(CO_3)_2$

Fino al 10%: CALCARE MAGNESIACO

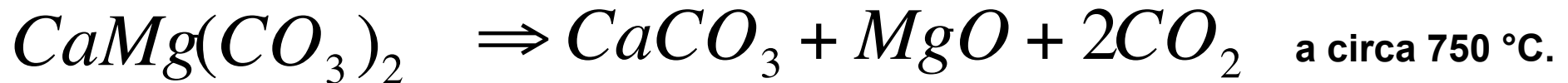
Fino al 50%: CALCARE DOLOMITICO

Fino al 90%: DOLOMIA CALCAREA

100%: DOLOMIA



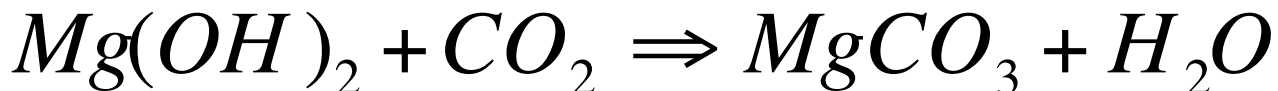
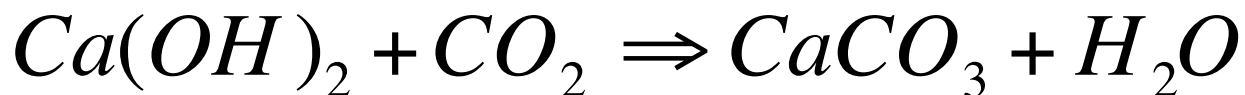
Calcinazione



Spegnimento



Indurimento:



Leganti aerei

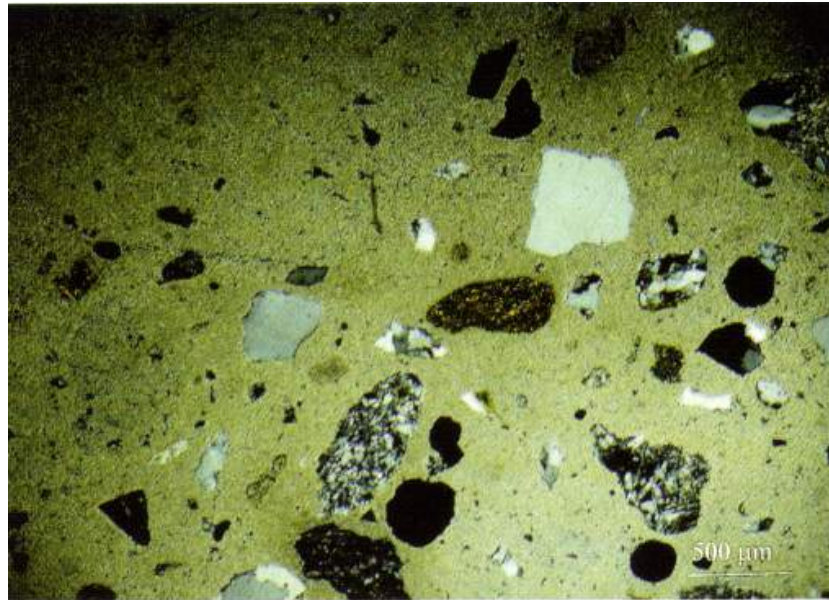
MALTA AEREA:

1 parte (in vol.) di grassello di calce

2 parti di sabbia.... circa!

malta grassa

Malta di allettamento - Cupola S.Maria in Fiore - XV sec., Firenze



malta magra



Malta da intonaco - Palazzo Davanzati - XIV sec. - Firenze

Leganti aerei - reazioni idrauliche



Malta romana con cocchiopesto (chamotte) - I sec a.C..

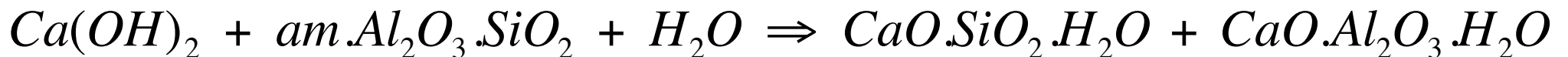
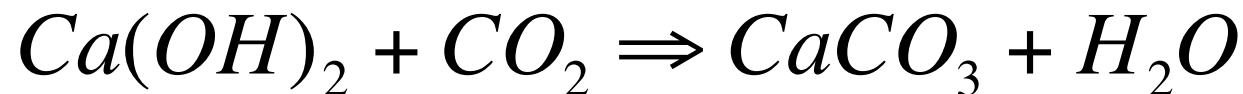
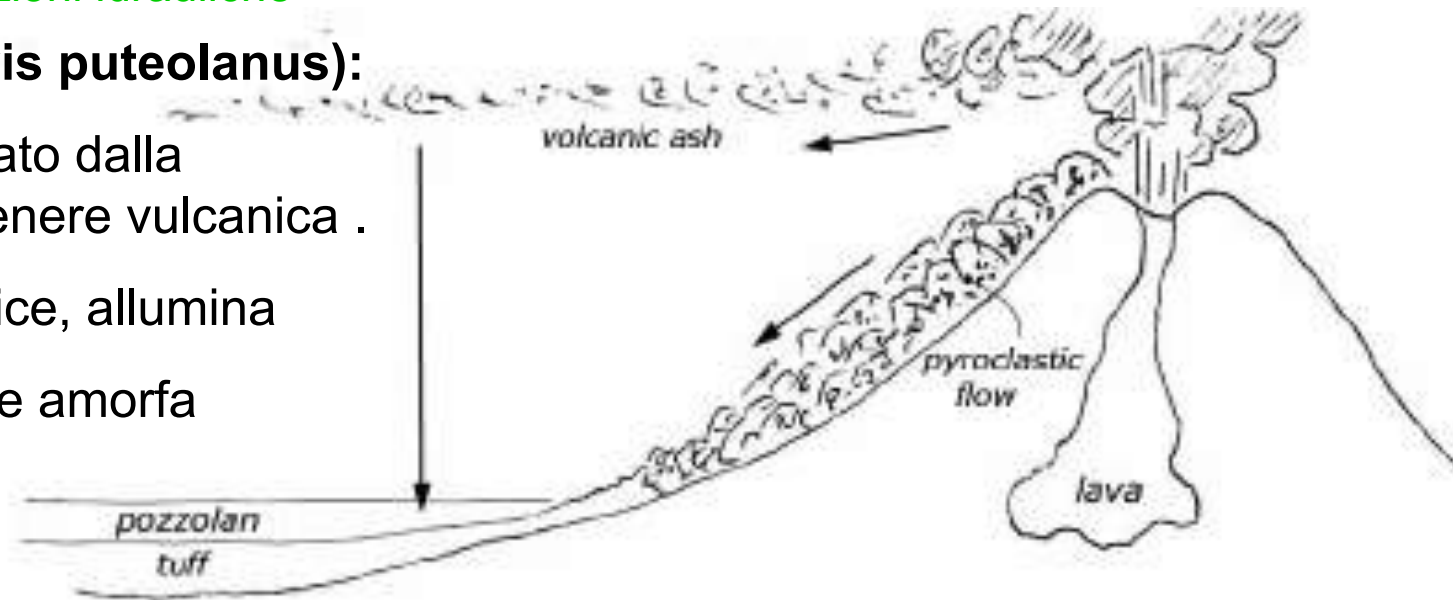
Calcestruzzo con pozzolana. Ponte di Augusto Narni - I sec a.C..



Leganti aerei - reazioni idrauliche

Pozzolana (*pulvis puteolanus*):

- Suolo fine formato dalla deposizione di cenere vulcanica .
- Costituita da silice, allumina
- Sostanzialmente amorfa



Calce
spenta

Pozzolana

Silicato

Idrato di Calcio

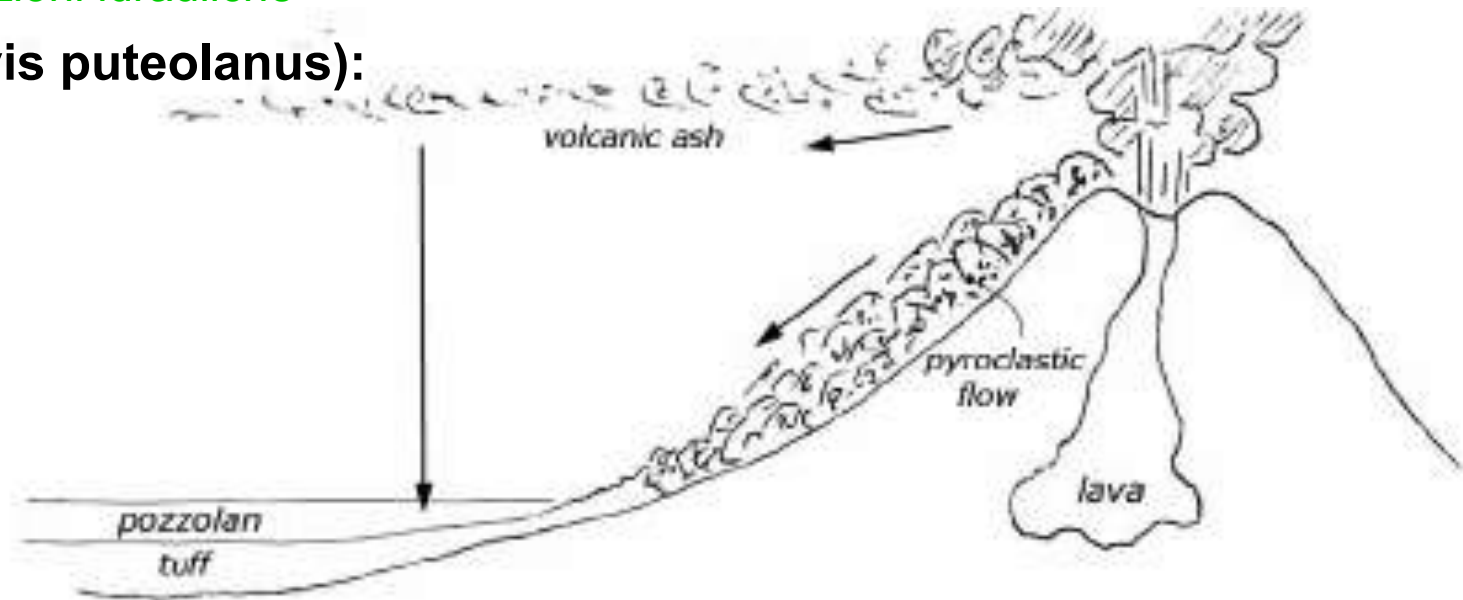
Alluminato

Idrato di Calcio

L' indurimento in questo caso avviene non per effetto di CO₂ (aria), bensì di H₂O... comportamento IDRAULICO.

Leganti aerei - reazioni idrauliche

Pozzolana (pulvis puteolanus):



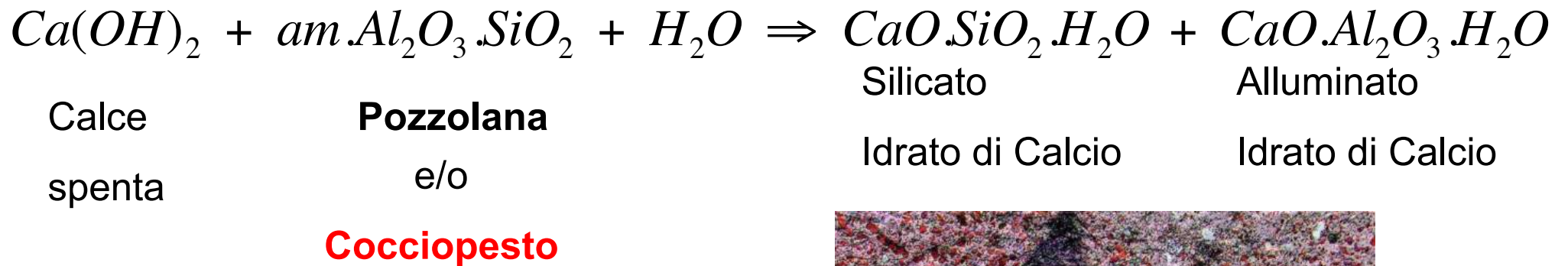
da: Vitruvio- *De Architectura*, libro II. 30-20 a.C.

Vi è altresì un tipo di polvere che per natura procura risultati ammirevoli. Si forma nelle regioni di Baia, nei campi dei municipi che si trovano intorno al monte Vesuvio. Ed esso mescolato a calce e pietrame non solo assicura solidità agli altri impianti, ma anche i moli quando sono costruiti in mare, si solidificano sott'acqua.

Leganti aerei - reazioni idrauliche



Calcestruzzo con pozzolana. Ponte di Augusto Narni - I sec a.C..

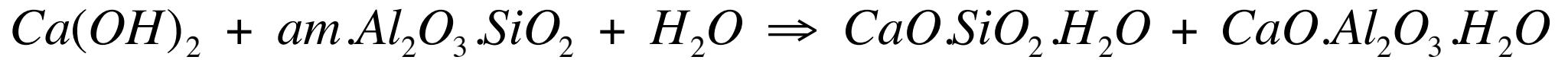


Malta romana con cocciopesto (chamotte) - I sec a.C..

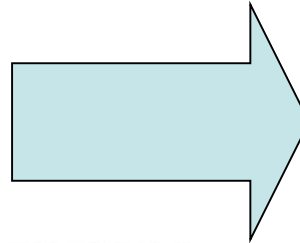


Costruito

Leganti aerei - reazioni idrauliche



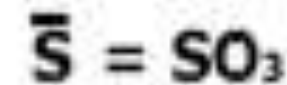
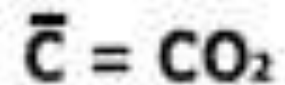
CH + AS + H



CSH + CAH

	FORMULA	NOME	SIMBOLO DI BERZELIUS	ROCCE DA CUI DERIVANO	TIPO DI REAZIONE
COMPONENTI ESSENZIALI	CaO	Calce	C	Rocce calcaree, marne	BASICA
	SiO ₂	Silice	S	Argille e sabbie silicee	ACIDA
	Al ₂ O ₃	Allumina	A	Argille e bauxite	ACIDA
	Fe ₂ O ₃	Ossido ferrico	F	Argille e ceneri di pirite	ACIDA
COMPONENTI ACCESSORI	Na ₂ O	Ossido sodico	N	Argille e rocce ignee	BASICA
	K ₂ O	Ossido potassico	K	Argille e rocce ignee	BASICA
	MgO	Ossido di magnesio	M	Dolomite	BASICA
	SO ₃	Anidride solforica	Z	Gesso e argille gessifere	ACIDA

Variante:



Leganti idraulici

da: Andrea Palladio I quattro libri, I, ca.5. Della calce e modo d'impastarla - 1570

Le pietre per far la **calce** o si cavano dai monti, o si pigliano dai fiumi.... Onde sarà miglior quella che sarà fatta di pietra **durissima, soda e bianca**, e che, cotta, rimarrà il terzo più leggiera della sua pietra (...)

Ogni (...) regolarmente **cuocesi** in ore sessanta.

Cotta si deve **bagnare** (...) fin ch'ella sia bene stemperata.

Di poi si **riponga** in luogo umido e nell'ombra (...) e quanto più sarà macerata, tanto sarà più tenace e migliore.

da: Andrea Palladio I quattro libri, I, ca.5. Della calce e modo d'impastarla - 1570

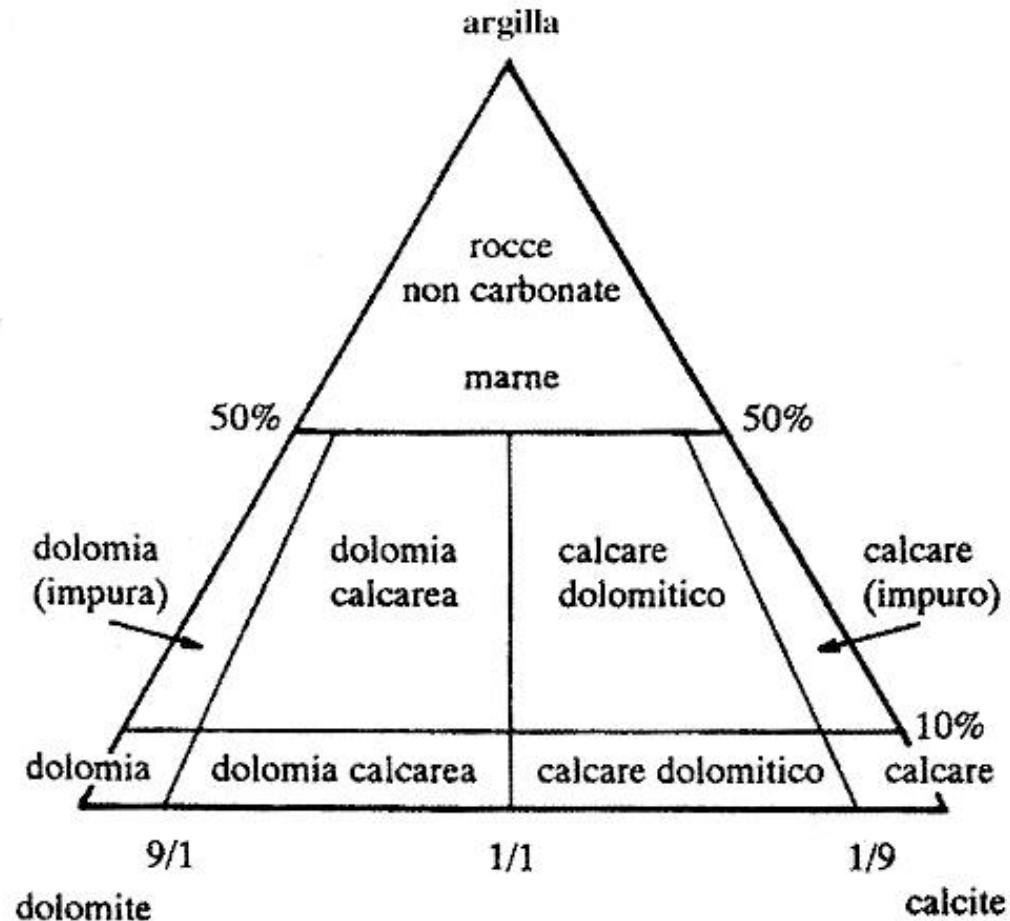
Si cavano nei monti di Padoa alcune **pietre scagliose**, le **calci** delle quali è eccellente nelle opere che si fanno allo scoperto e nell'**acque**, perciò presto fa **presa** e si mantiene lungamente.

(...) e quanto più sarà macerata, tanto sarà più tenace e migliore, eccetto quella che di pietra scagliosa sarà fatta, perché **subito bagnata bisogna metterla** in opera, altrimenti si consuma e si abbrucia, onde non fa presa e diviene del tutto inutile.

Leganti idraulici

Si cavano nei monti di Padoa alcune **pietre scagliose**, le **calci** delle quali è eccellente nelle opere che si fanno allo scoperto e nell'**acque**, perciò presto fa **presa** e si mantiene lungamente.

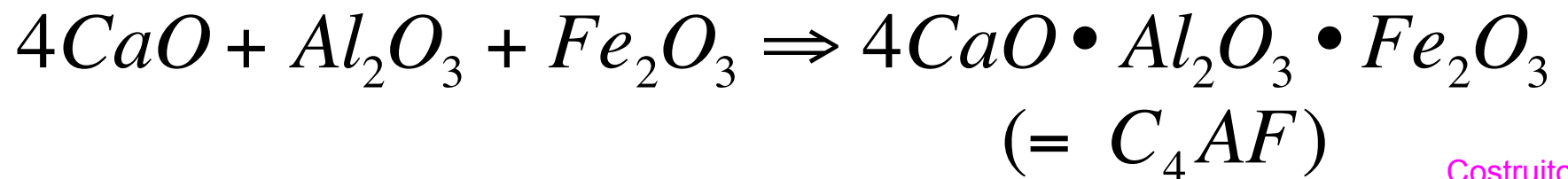
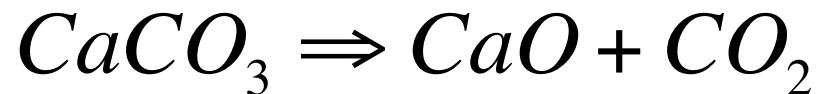
(...) e quanto più sarà macerata, tanto sarà più tenace e migliore, eccetto quella che di pietra scagliosa sarà fatta, perché **subito bagnata bisogna metterla** in opera, altrimenti si consuma e si abbrucia, onde non fa presa e diviene del tutto inutile.



Calci aeree \Rightarrow Argilla < 10%

Calci idrauliche \Rightarrow 10% < Argilla < 22%

Calcinazione di calcari marnosi



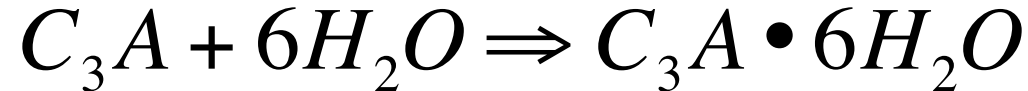
Leganti idraulici

NOME	COMPOSIZIONE CHIMICA	FORMULA DI BERZELIUS	FORMULA DUALISTICA	FORMULA TRADIZIONALE	ASPETTO AL MICROSCOPIO
ALITE	Silicato tricalcico	C_3S	$3CaO \cdot SiO_2$	Ca_3SiO_5	Grani poligonali bianchi
BELITE	Silicato bicalcico	C_2S	$2CaO \cdot SiO_2$	Ca_2SiO_4	Grani tondeggianti grigi
CELITE	Alluminato tricalcico	C_3A	$3CaO \cdot Al_2O_3$	$Ca_3Al_2O_6$	Massa interstiziale gialla
	Ferro-alluminato tetracalcico	C_4AF	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	$Ca_4Fe_2Al_2O_{10}$	

Cemento

Presatura e indurimento del Cemento Portland

Idratazione dell'alluminato tricalcico (celite):



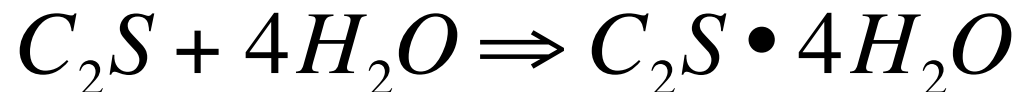
Idratazione del silicato tricalcico (alite):



Idratazione del ferro-alluminato tetracalcico (celite):

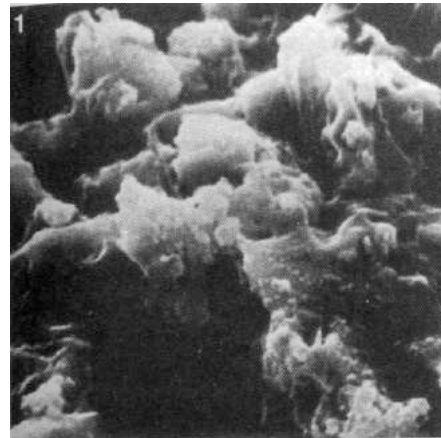


Idratazione del silicato bicalcico (belite):

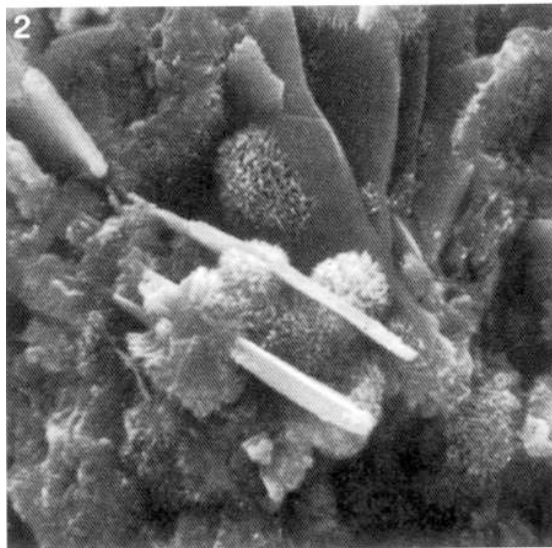


Cemento

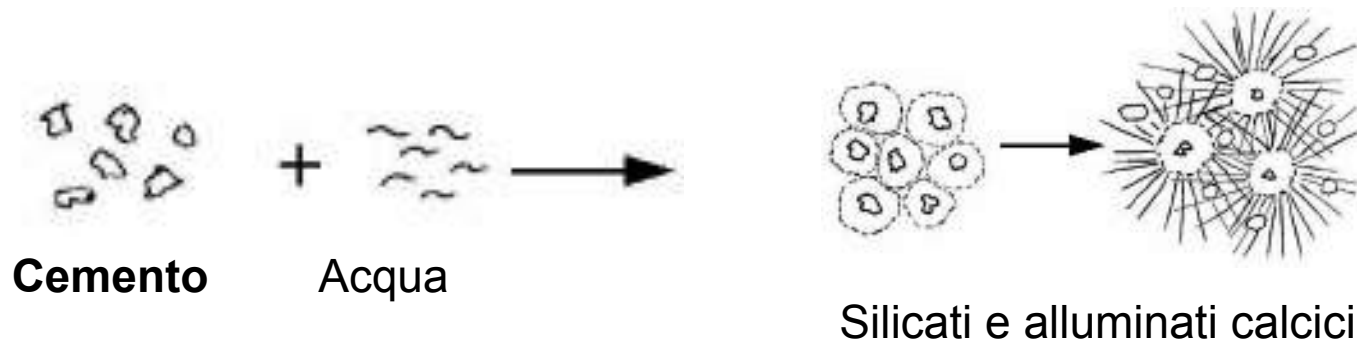
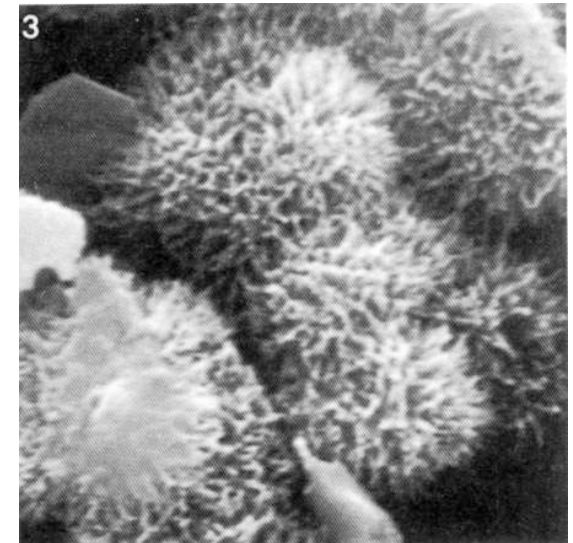
Presatura e indurimento del Cemento Portland



2 h



30 gg



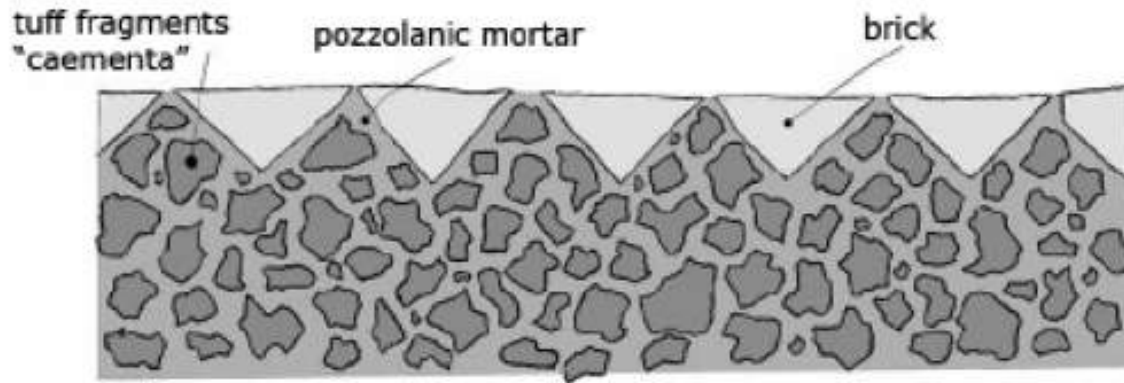
Costruito

Cemento

Calci aeree \Rightarrow Argilla < 10%

Calci idrauliche \Rightarrow 10% < Argilla < 22%

Cementi \Rightarrow 22 % > Argilla



Opus caementicium: conglomerato di legante + aggregati

Cementum: accezione M.E. - solo legante (sia idraulico sia aereo)

Cemento: legante idraulico (dal 18° sec.)

Cemento

Cemento: un po' di storia

1756:

Faro di Eddystone (Plymouth). J. Smeaton sperimenta effetto della cottura su diverse miscele calcare/argilla.

1796:

J. Parker brevetta un legante a pronta presa che chiama "cemento Romano".

1818:

L.J.Vicat sperimenta calce idrauliche per la costruzione di un ponte sulla Dordogna

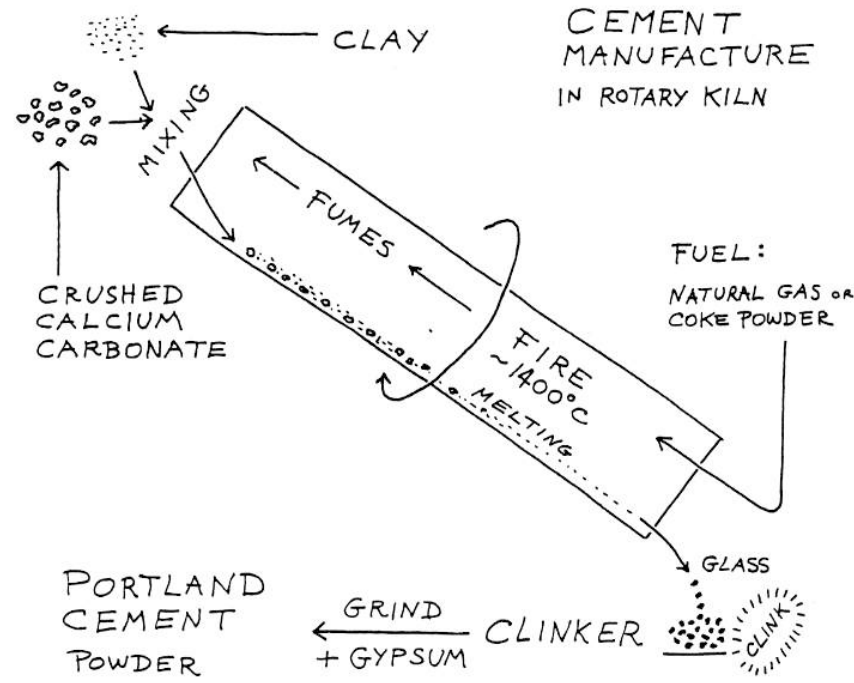
1824:

J.& W. Aspdin brevettano (1827) il cemento Portland (...l' invenzione è in grado di produrre una pietra artificiale in tutto simile alla pietra di Portland (considerata la miglior roccia calcarea disponibile in Inghilterra per opere edili) - *Proto-cemento Portland*

1845:

I.C.Johnson aumenta le temperature di cottura (1450°C) e modifica la composizione in modo da ottenere un prodotto molto simile all' attuale Portland.

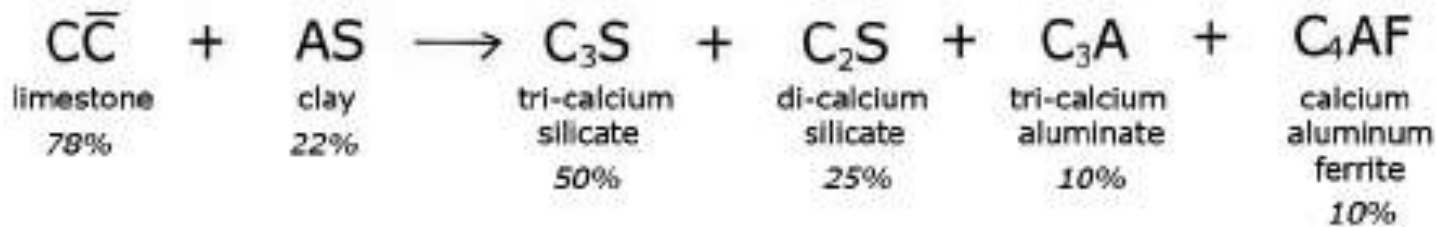
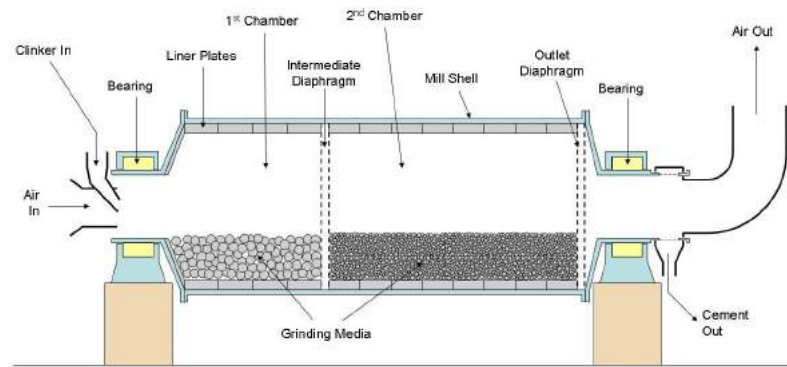
Cemento



Clinker



10 cm



1: Dalla pietra ai ceramici avanzati

- Materiali del Costruito: dal concotto al calcestruzzo

Terra

Laterizi

Concotto

Leganti

Gesso

Leganti aerei

Reazioni idrauliche

Leganti idraulici

Cemento

Extras

Cemento - extra

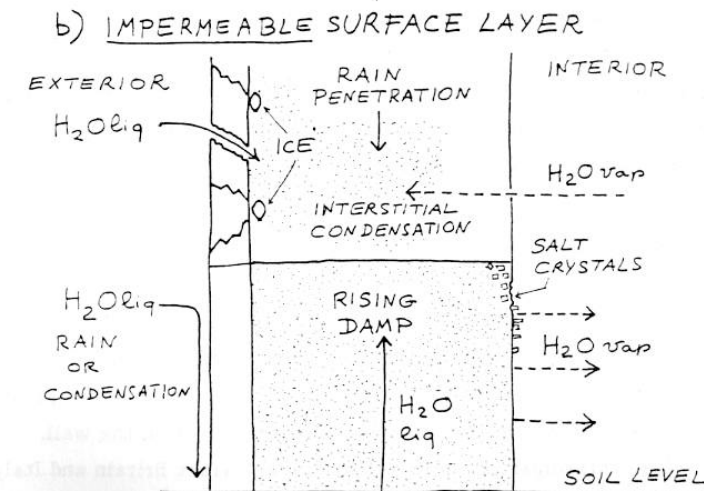
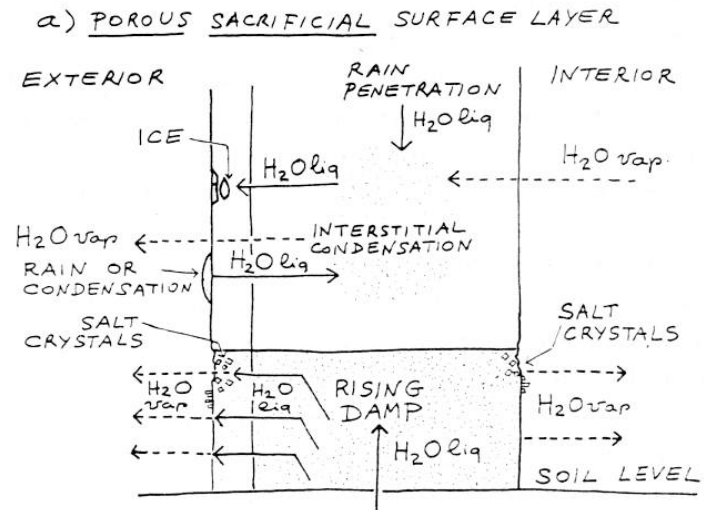
Tipo di calce	Indice di idraulicità	Tempo di presa	Tempo di indurimento
Calci debolmente idrauliche	0,10 - 0,16	15 giorni	1 mese
Calci mediamente idrauliche	0,16 - 0,31	10 giorni	2 settimane
Calci propriamente idrauliche	0,31 - 0,42	5 giorni	1 settimana
Calci eminentemente idrauliche	0,42 - 0,50	2-4 giorni	meno di 4 giorni

$$I_i = \frac{SiO_2\% + Al_2O_3\% + Fe_2O_3\%}{CaO\% + Na_2O\% + K_2O\% + Mg_2O\%}$$

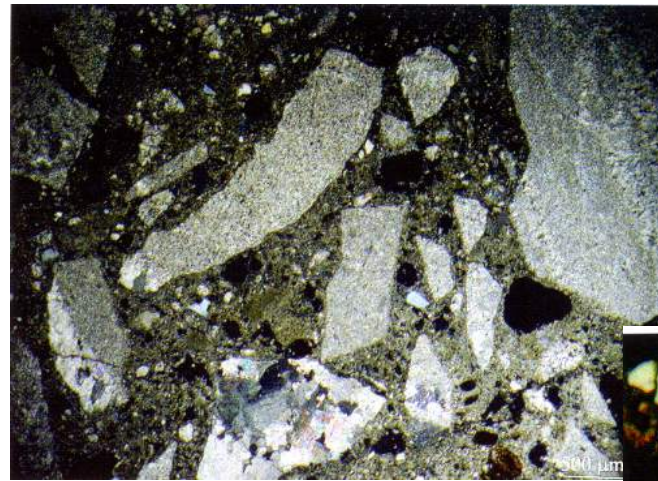
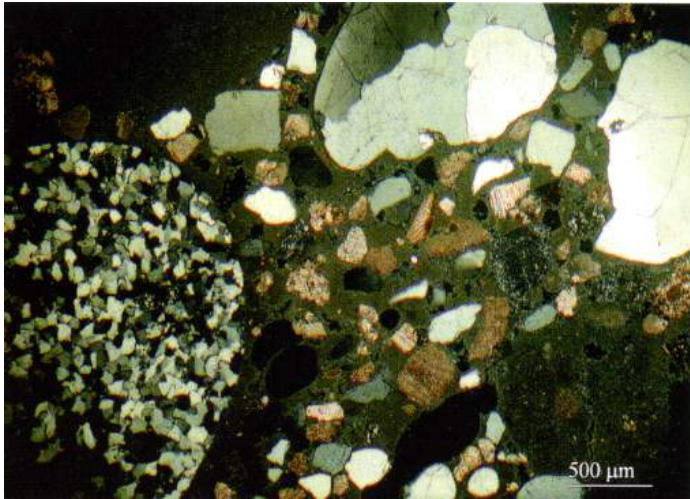
Intonaco - extra

Caratteristiche degli intonaci:

- Adesione e compatibilità con il supporto;
- Adattabilità al substrato e deformabilità
- Resistenza alle precipitazioni
- Aspetto estetico



Intonaco - extra



Elementi costitutivi:

- Rinzaffo (cemento e sabbia grossolana);
- Strato di arriccio (cemento, calce e sabbia di fiume)
- Finitura o stabilitura o intonachino (micromalta a base cementizia, calce e sabbia macinata)

Il graffito

-Colori del graffito:

Nero animale

Nero da carbone

Nero

Ocra

Terra bruciata

Terre verdi

