

## 1: Dalla pietra ai ceramici avanzati

- Materiali del Costruito: dal concotto al calcestruzzo

Terra

Laterizi

Tecniche Murarie

Concotto

Leganti

Gesso

Leganti aerei

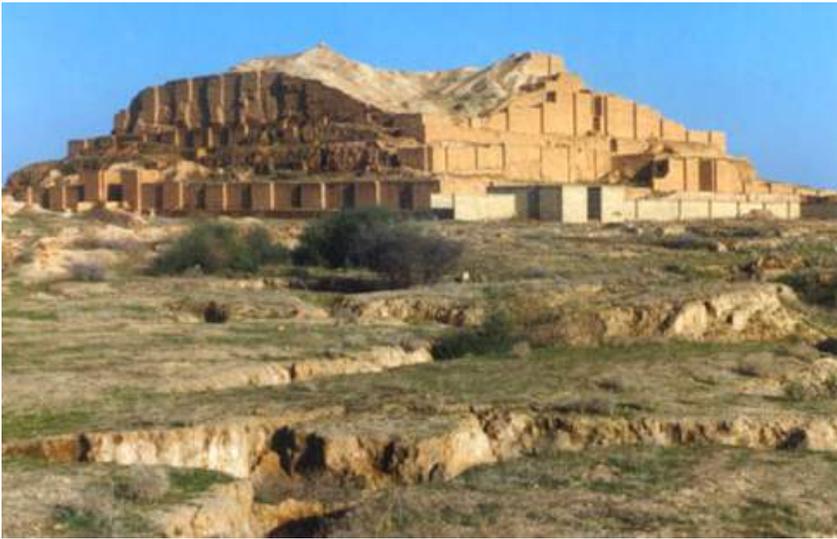
Reazioni idrauliche

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”.



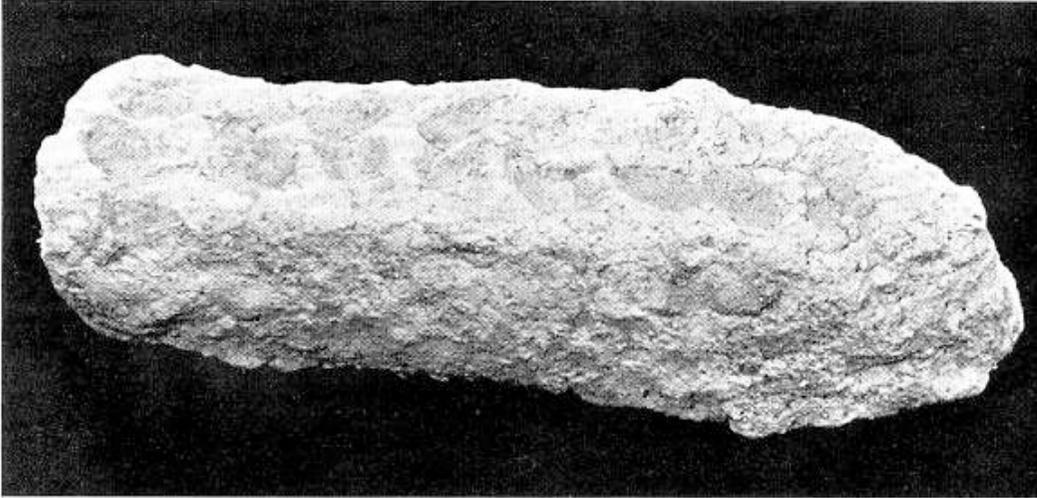
Costruito

# Terra



Costruito

## Terra-Laterizi

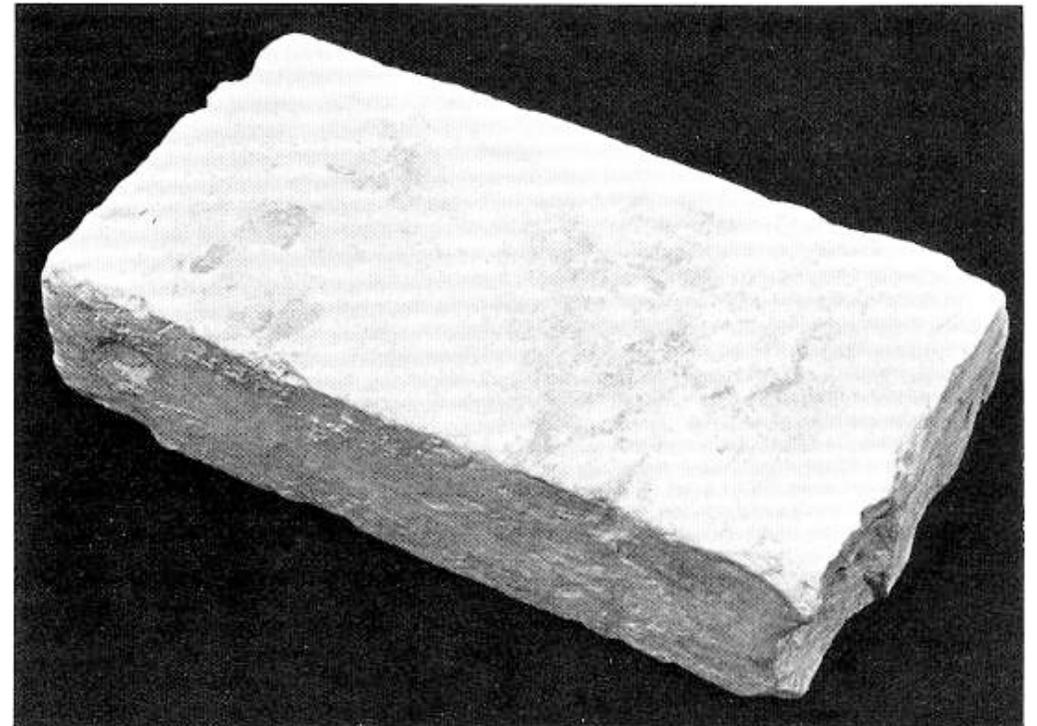


Elemento costruttivo in fango essiccato al sole -  
Gerico **7000-9000 a.C.**



## Laterizi

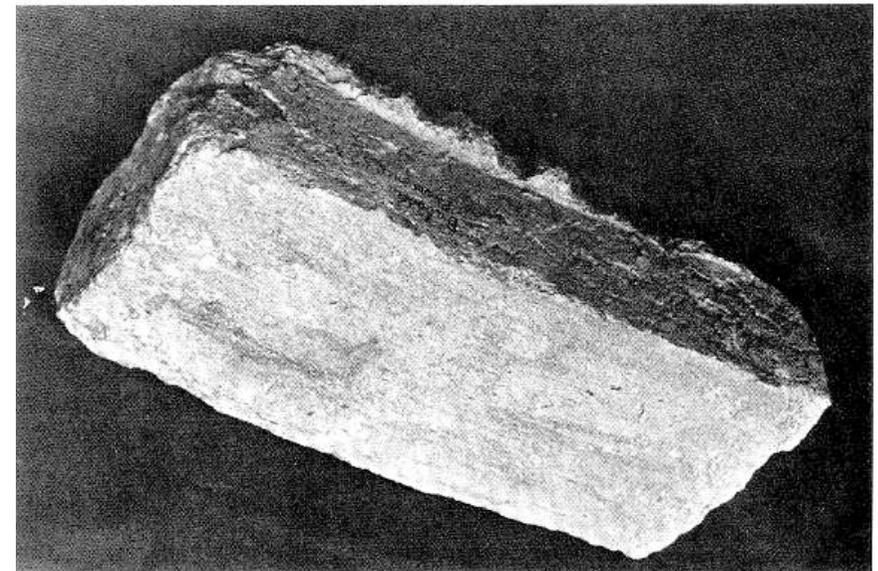
Mattone cotto -  
Kalinbangan (India) **3000 a.C.**



## Laterizi

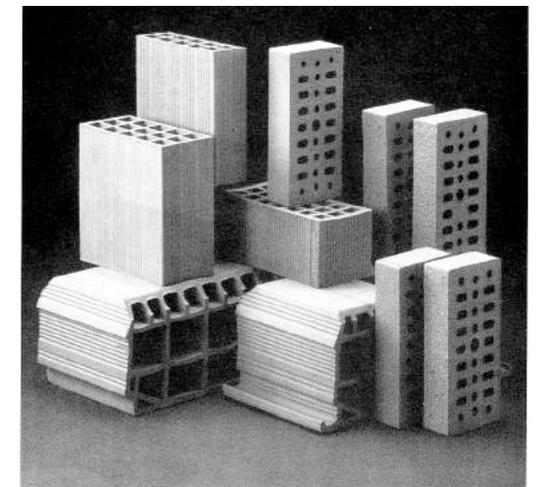
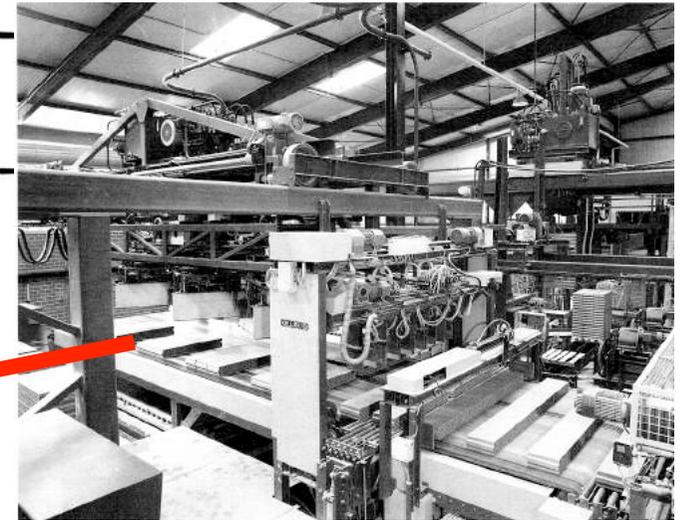
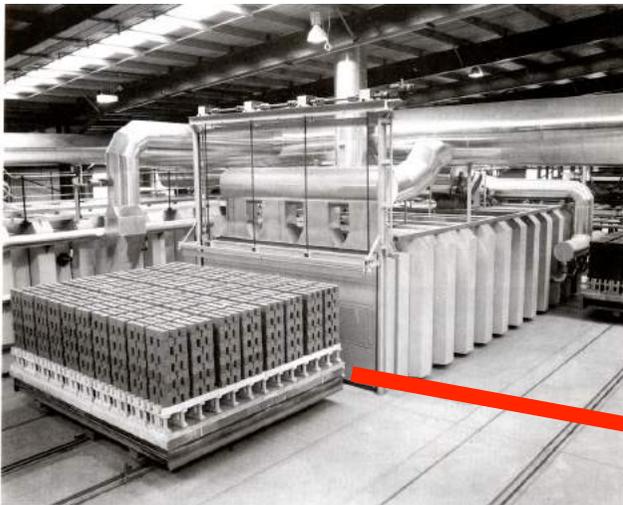
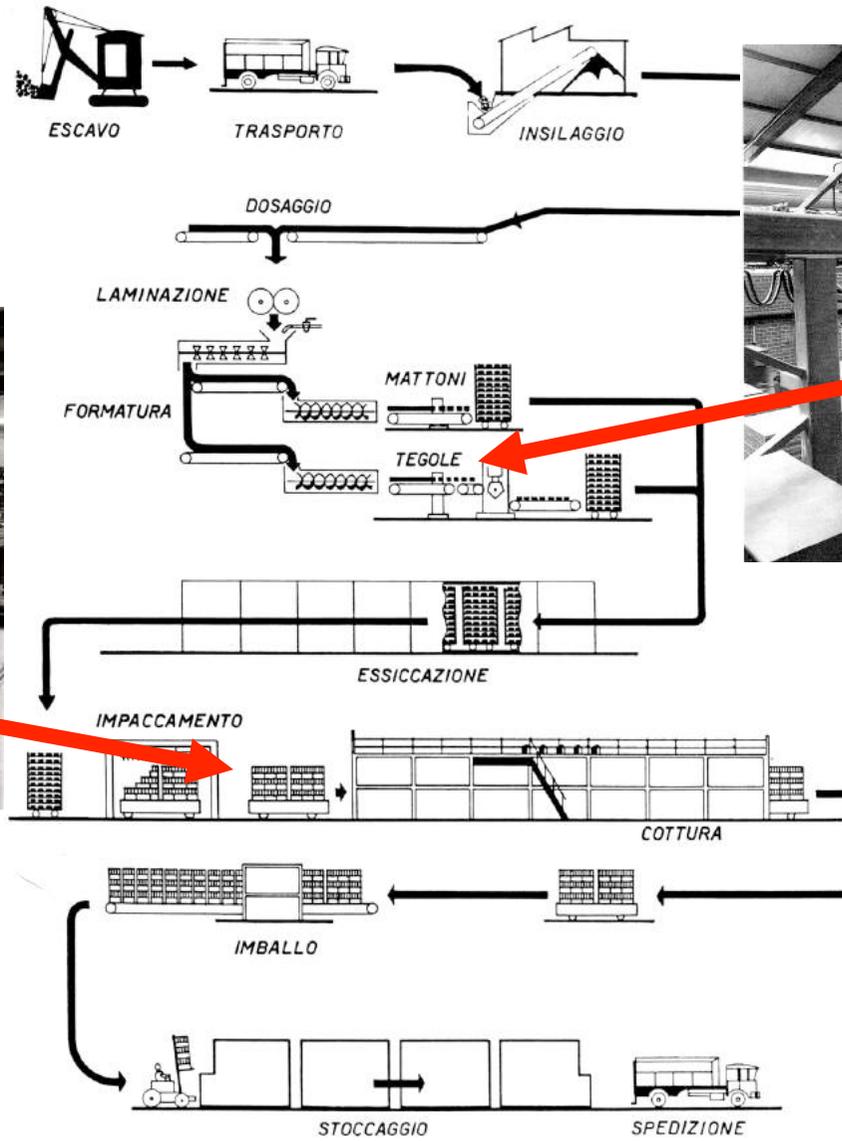


Matteone in terracotta dalla città sumera di Nippur  
**2000 a.C. ca**

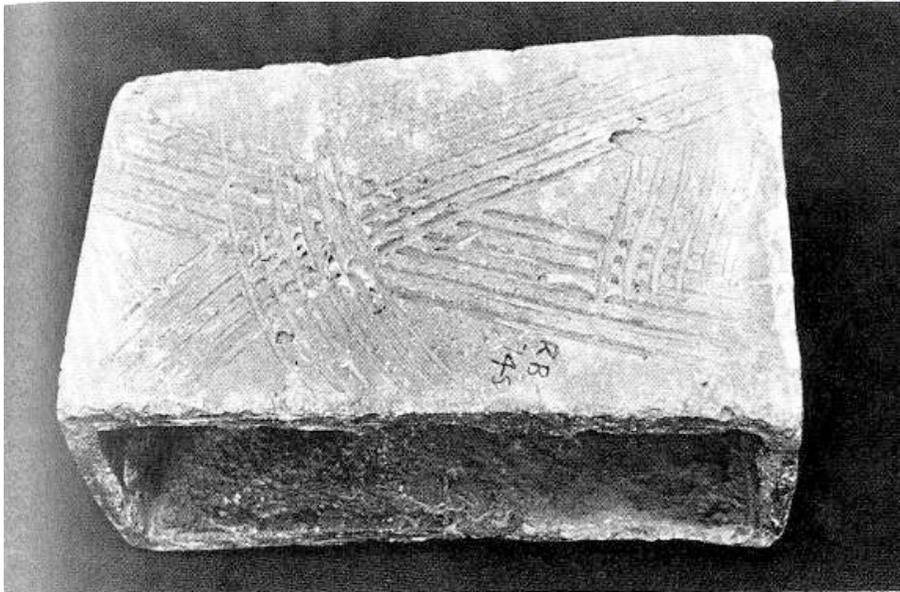


Matteone egizio in terracotta **1000 a.C.**

# Laterizi

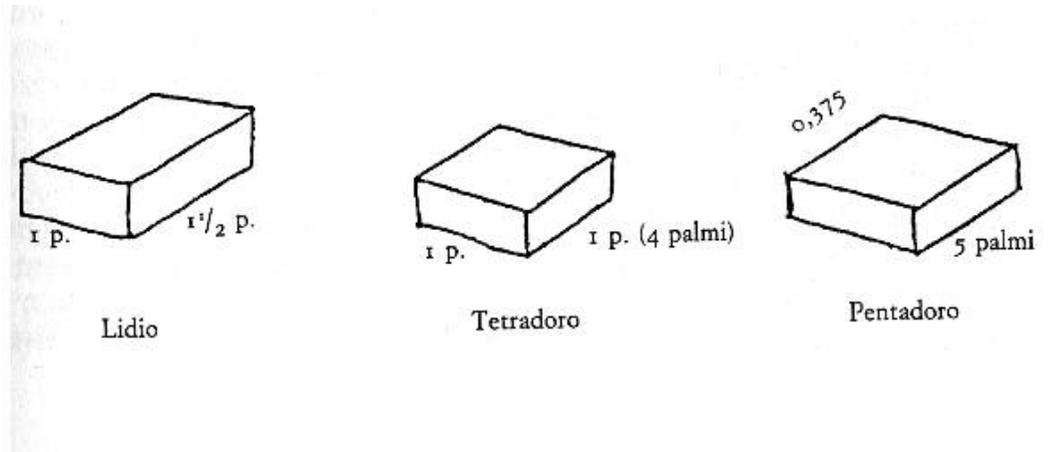


# Laterizi



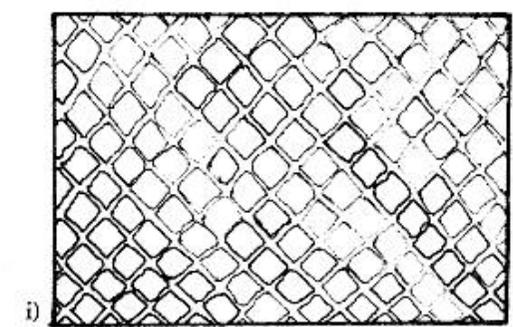
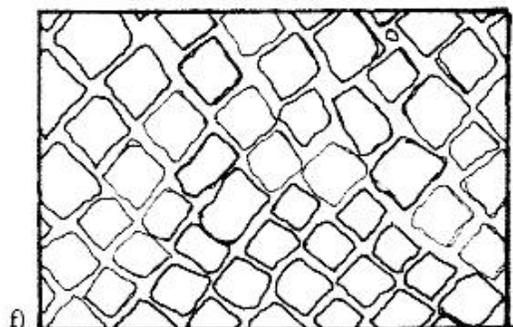
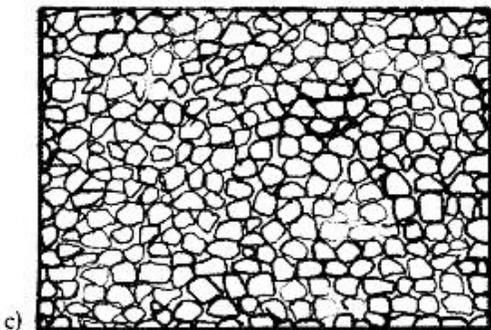
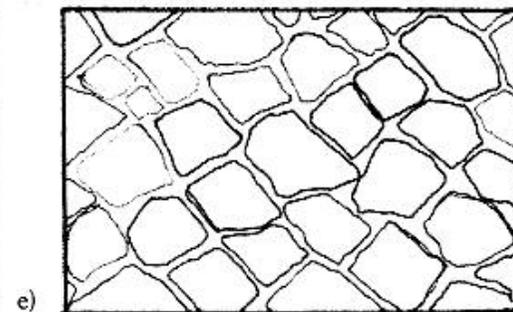
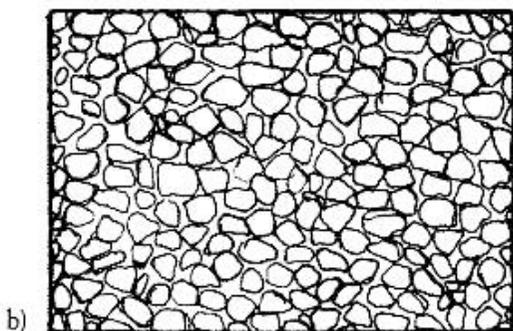
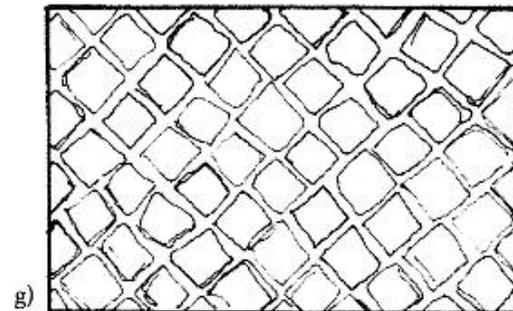
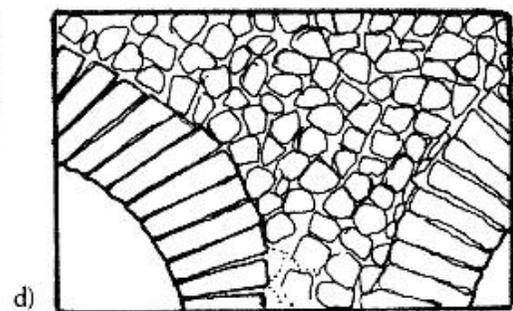
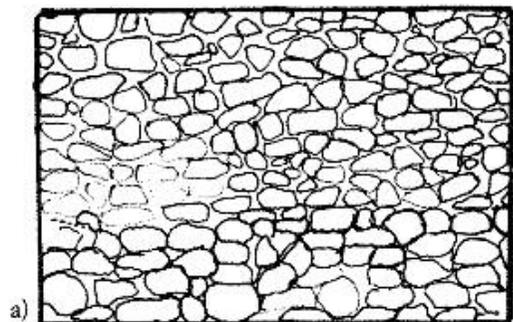
Mattone in terracotta per ipocausto da Bath

I sec. dC

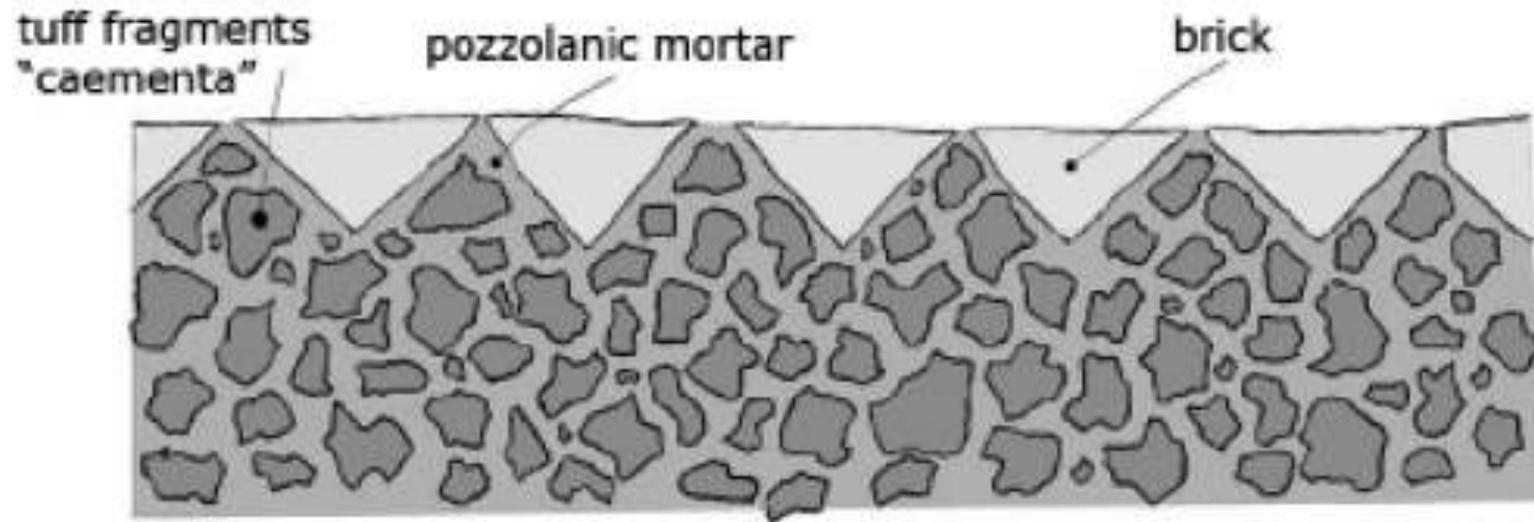


Costruito

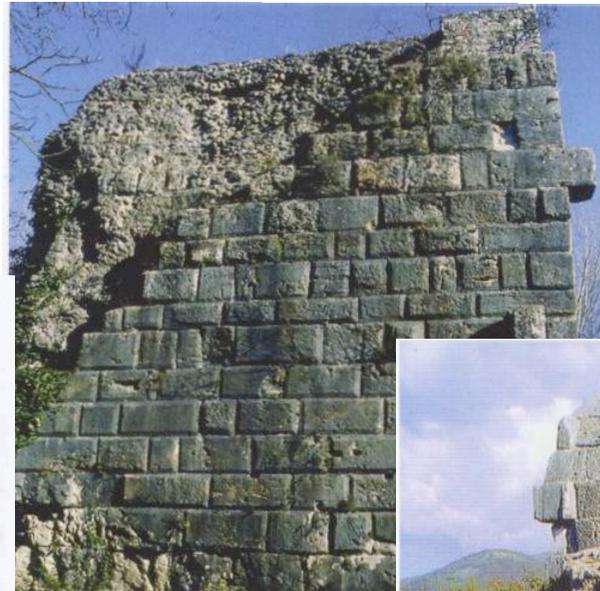
# Tecniche murarie



## Tecniche murarie

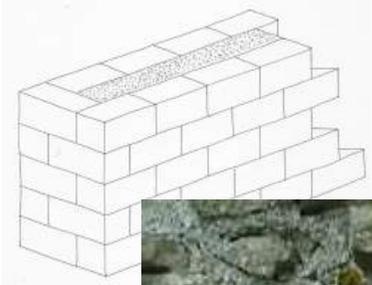


*Opus caementicium*

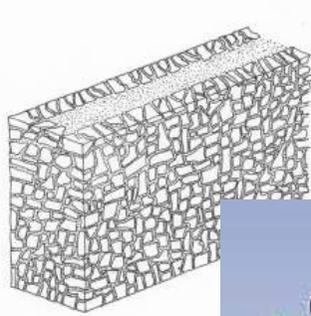


## Tecniche murarie

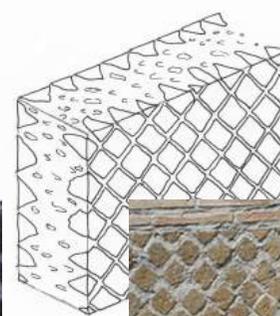
Opus quadratum



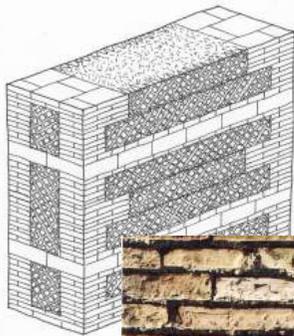
Opus incertum



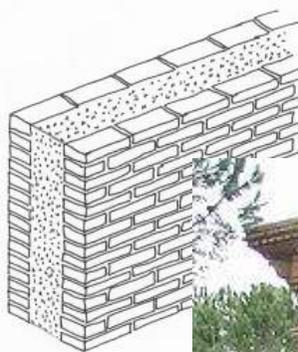
Opus reticulatum



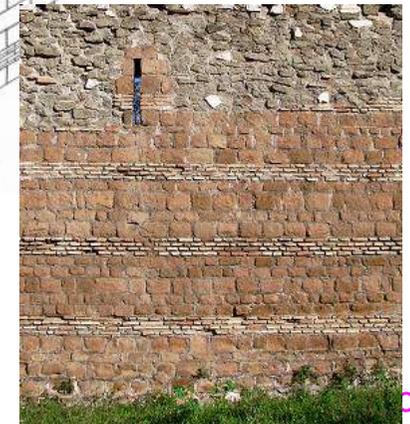
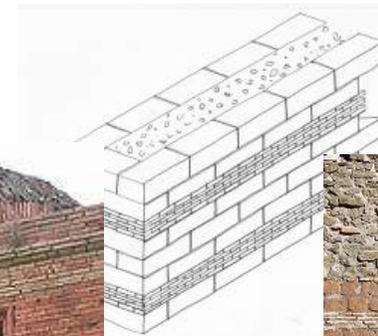
Opus mixtum



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

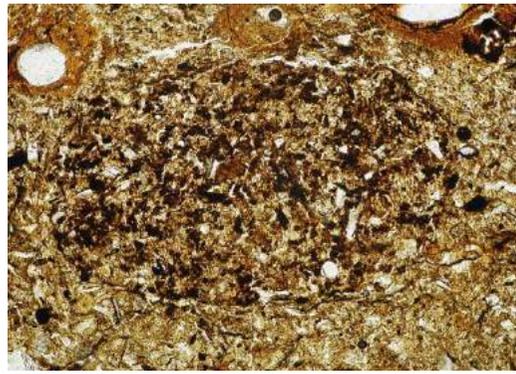


LGco1086



5 cm

# Concotto

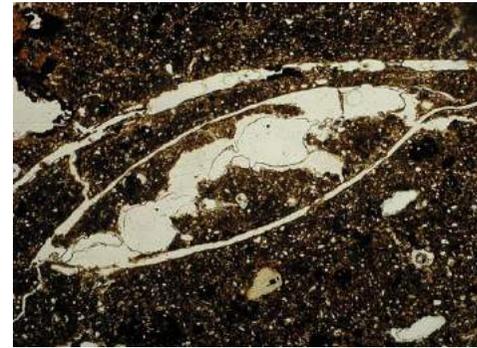


0.5mm

1)

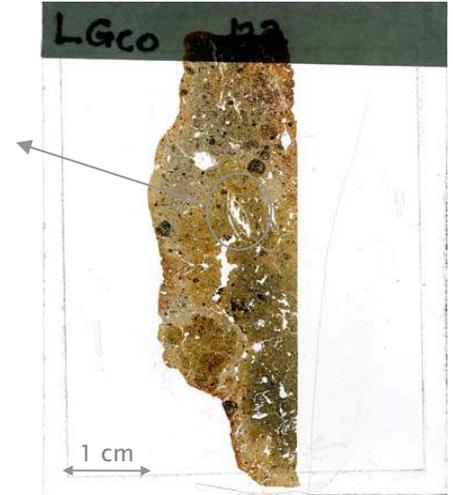


1 cm



1 mm

2)



1 cm



1 mm

3)



1 cm



1 mm

4)



1 cm

Costruito

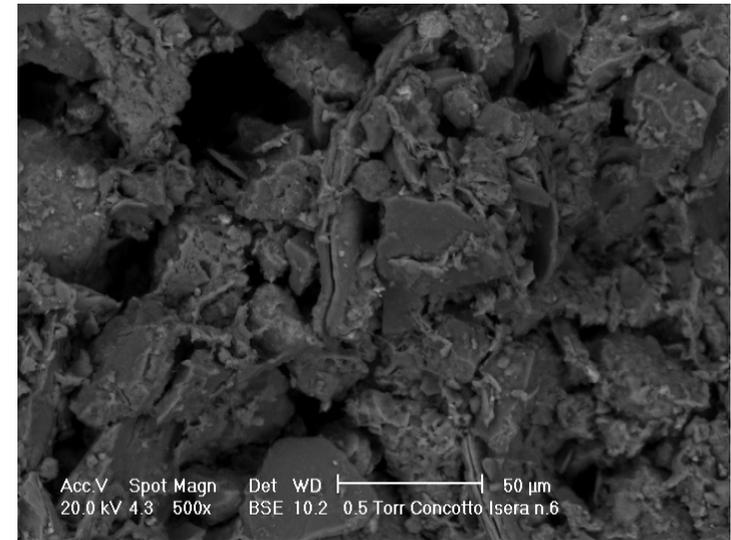
## Concotto



### Costruzioni

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

# Concotto



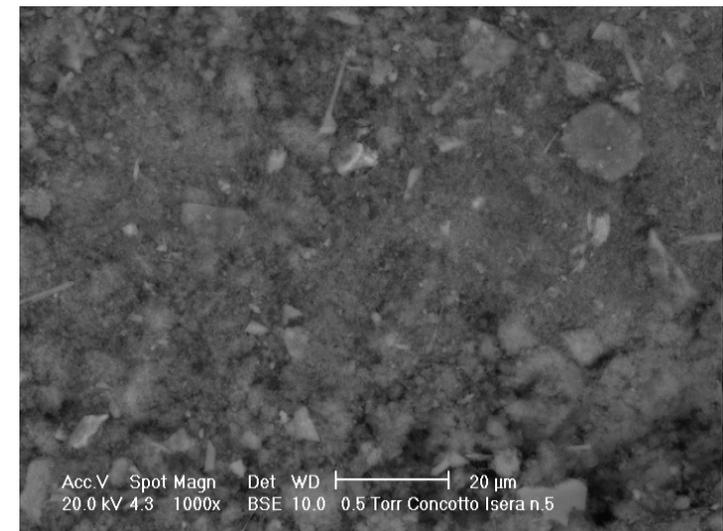
*Frammento di concotto con "intonacatura".*

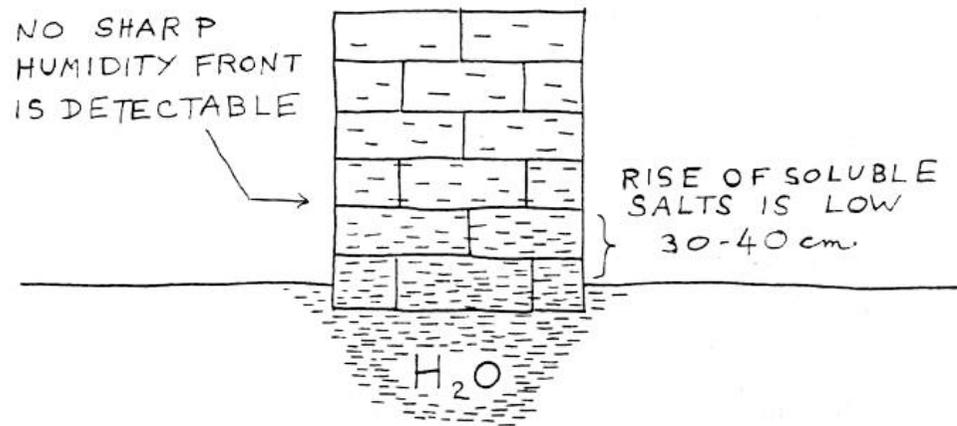
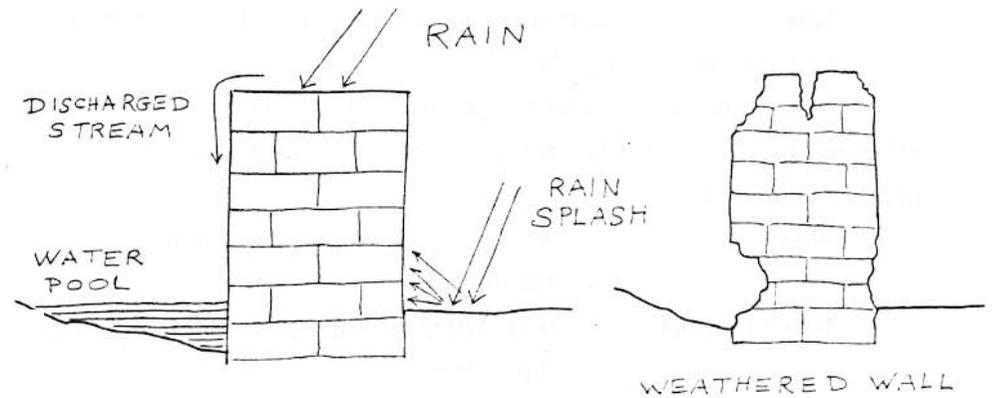
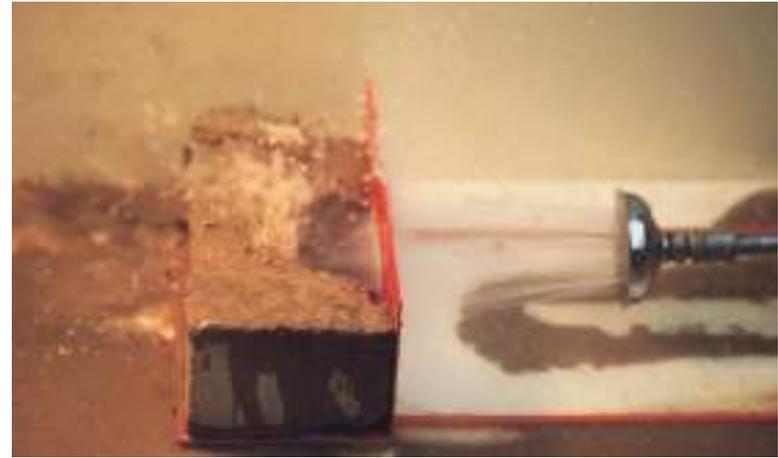
*Sito Isera La Torretta  
US43 Neolitico Recente  
4300-3800 BC cal*

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

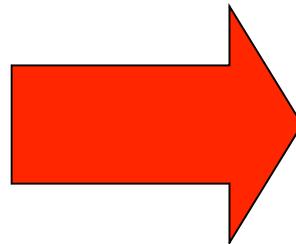
### Leganti Aerei:

- 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**

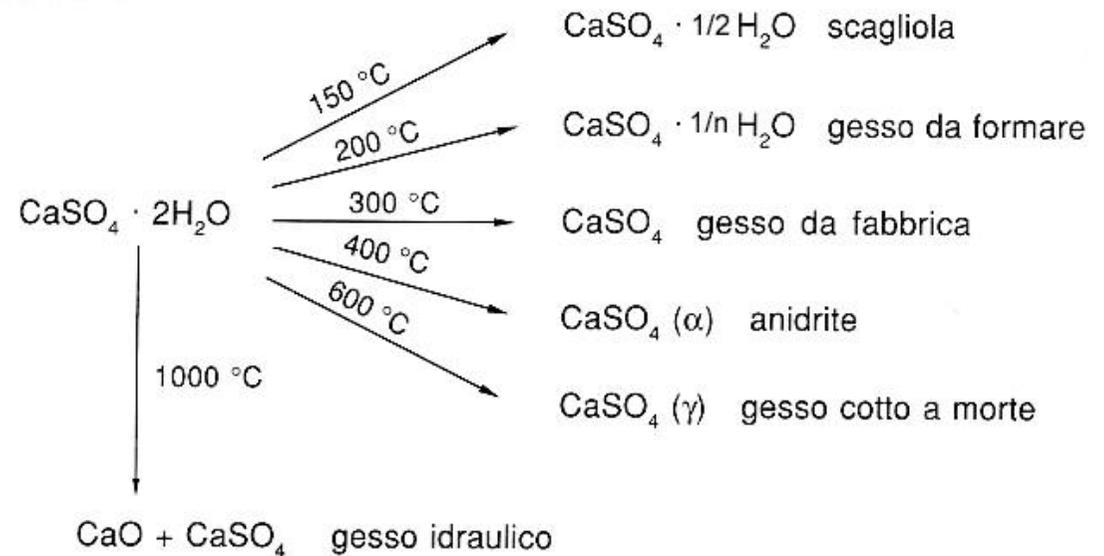
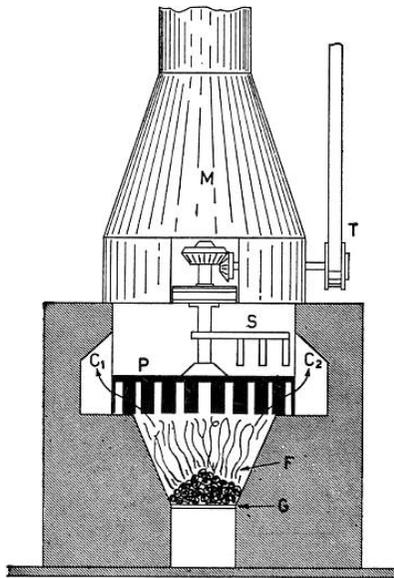
(aggregati granulometria < 5mm (4.75 mm secondo normativa europea))

#### **Calcestruzzo**

(aggregati granulometria > 5mm)

## Gesso

### GESSO (minerale)

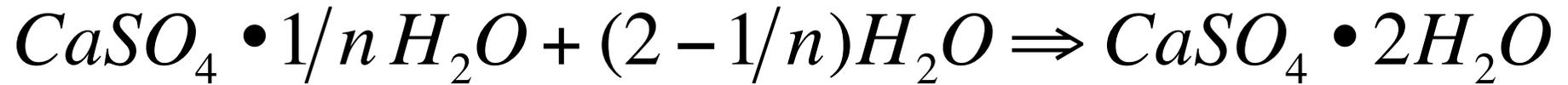


### Principali Prodotti:

- **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)

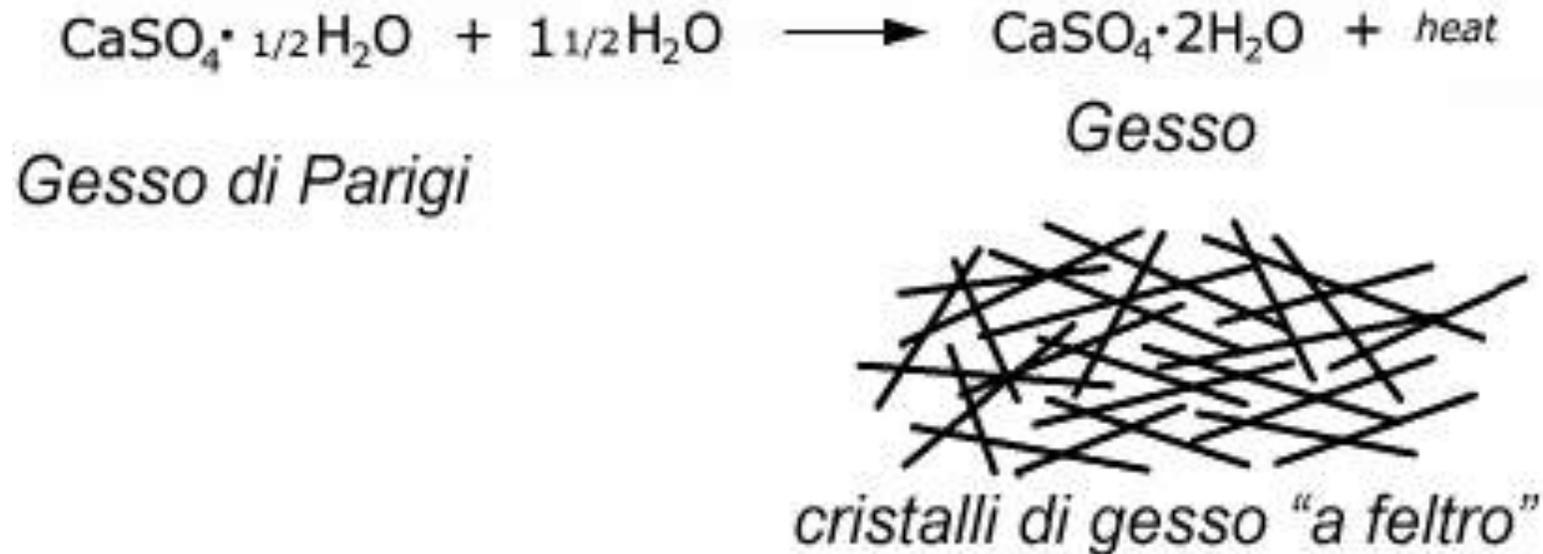
## Gesso

### 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

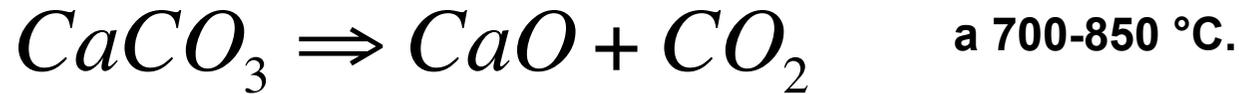
### Limiti del gesso:

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

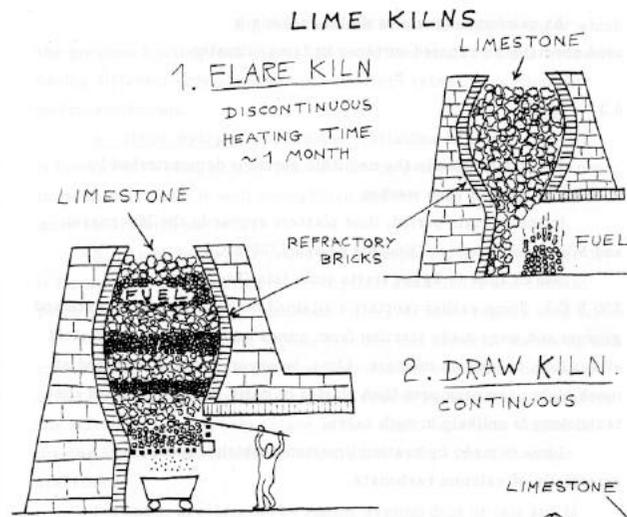
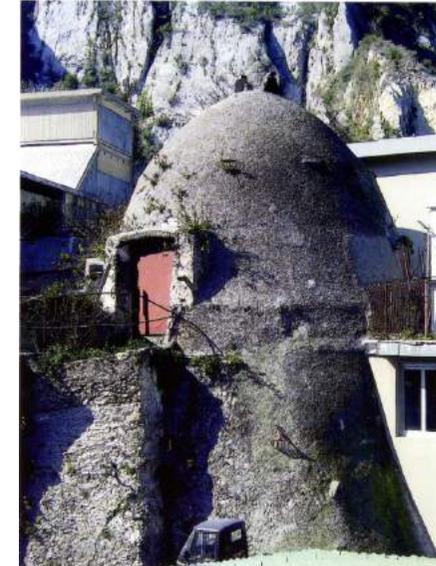
# Leganti aerei

## CALCE AEREA.

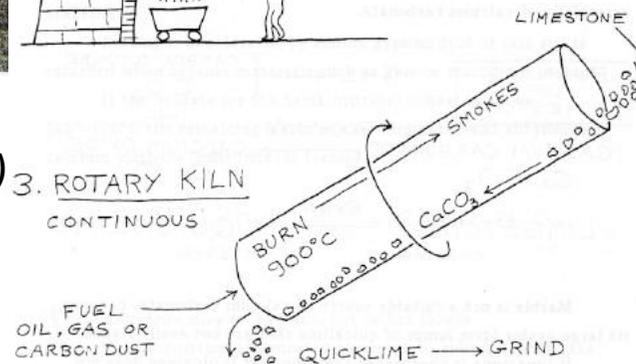
### Calcinazione



Forno a fuoco intermittente (XVIII sec.)



Forno a fuoco continuo (XIX sec.)

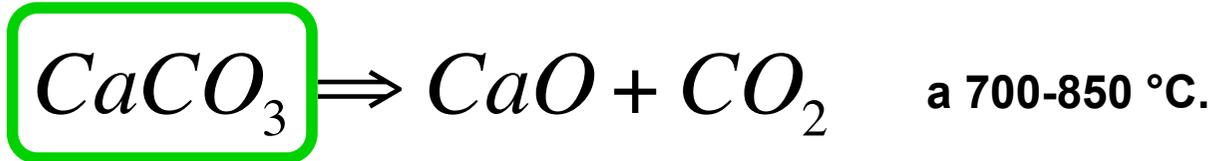


Forno attuale (XXI sec.)

Leganti aerei

**CALCE AEREA.**

**Calcinazione**



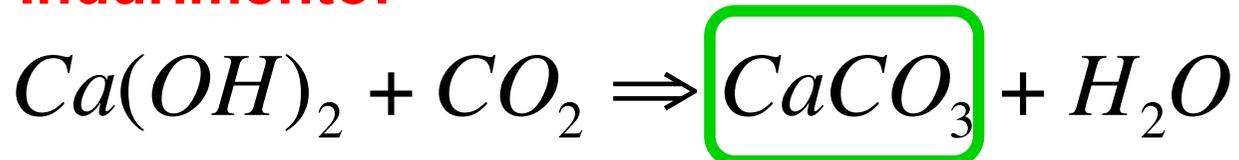
**Spegnimento**



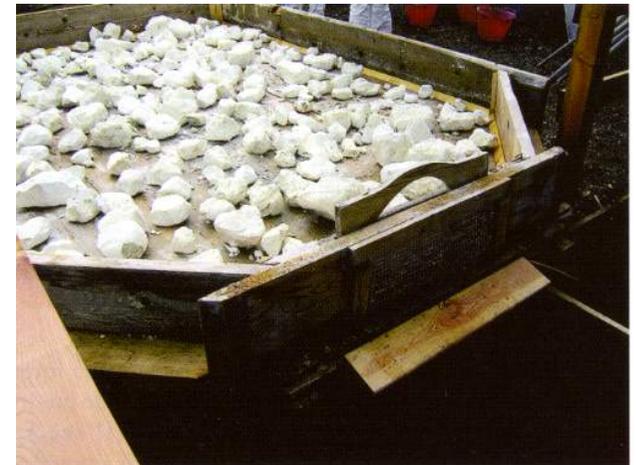
**Applicazione:**

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

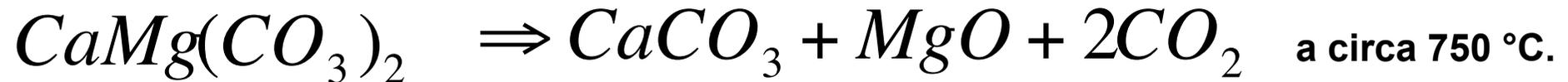
Fino al 50%: CALCARE DOLOMITICO

Fino al 90%: DOLOMIA CALCAREA

100%: DOLOMIA



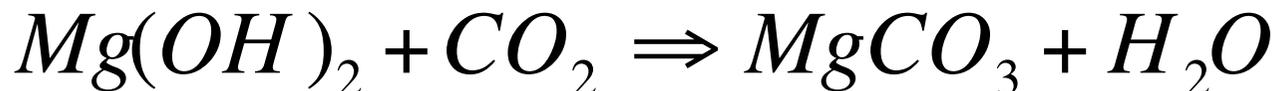
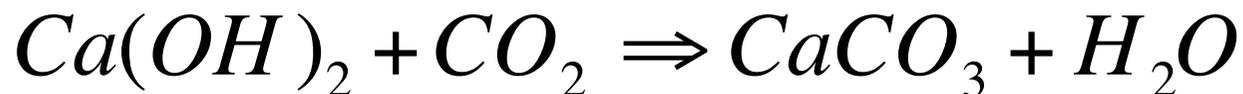
**Calcinazione**



**Spegnimento**



**Indurimento:**



## Leganti aerei

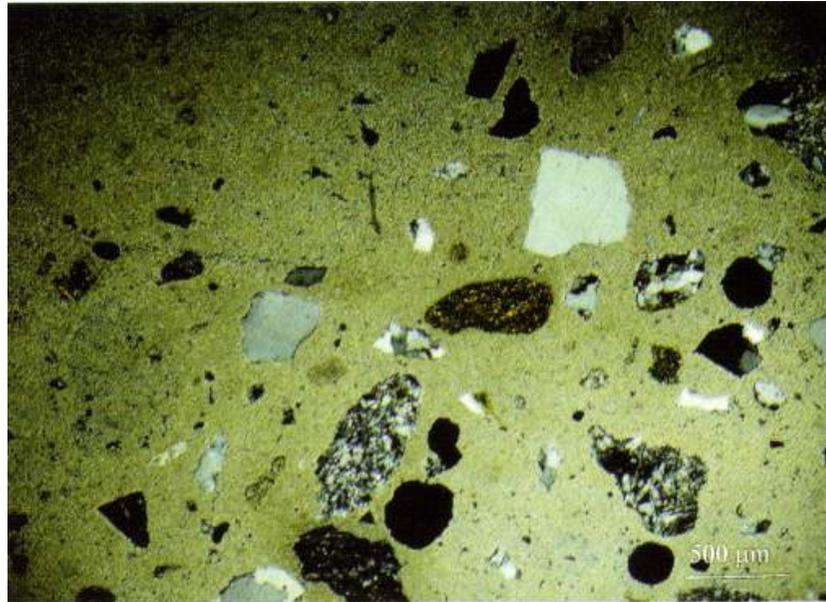
### **MALTA AEREA:**

**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..

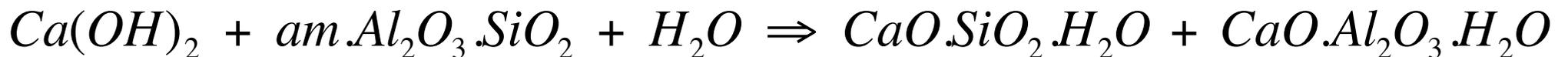
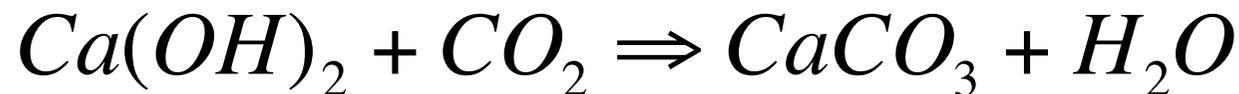
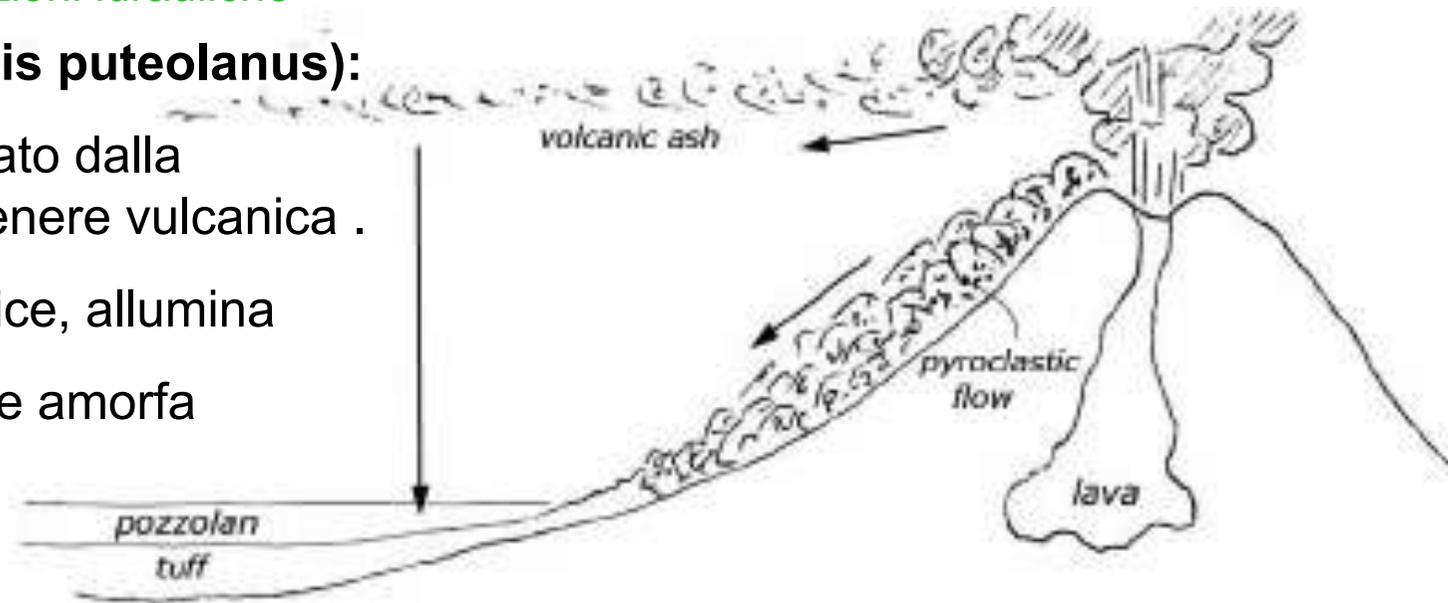
Calcestruzzo con pozzolana. Ponte di Augusto Narni - I sec a.C..



## 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

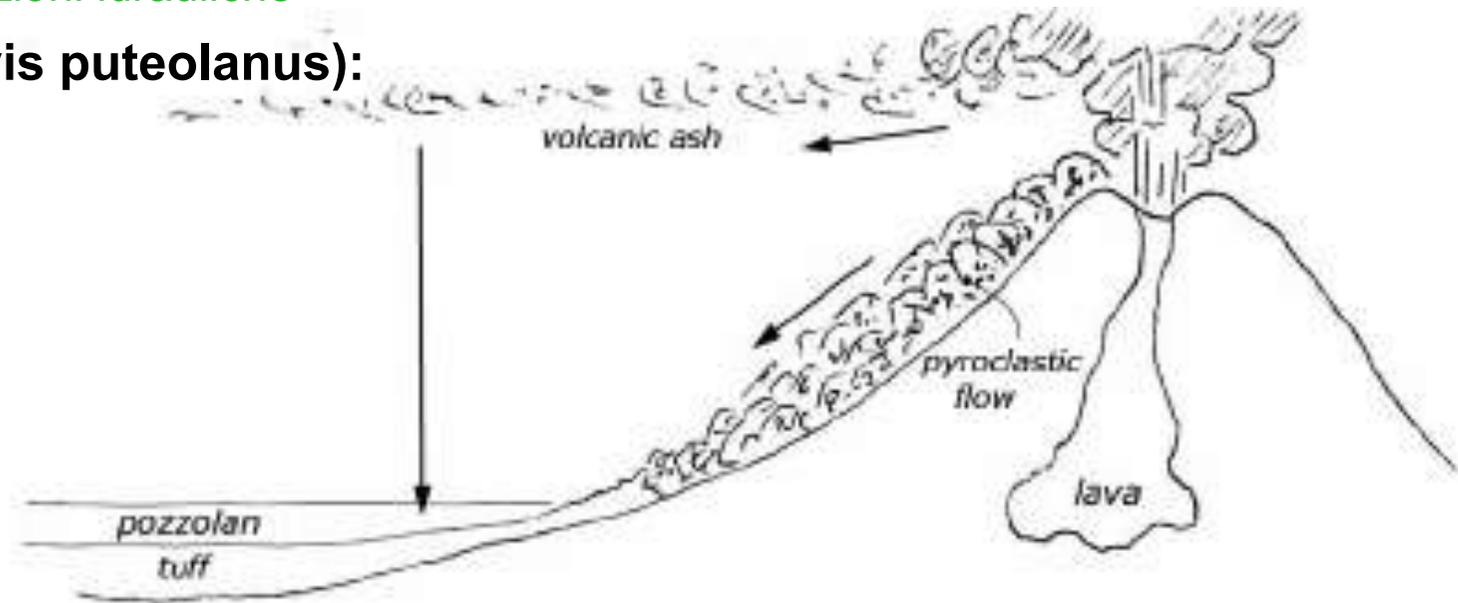
Alluminato

Idrato di Calcio

**L' indurimento in questo caso avviene non per effetto di CO<sub>2</sub> (aria), bensì di H<sub>2</sub>O... comportamento IDRAULICO.**

Leganti aerei - reazioni idrauliche

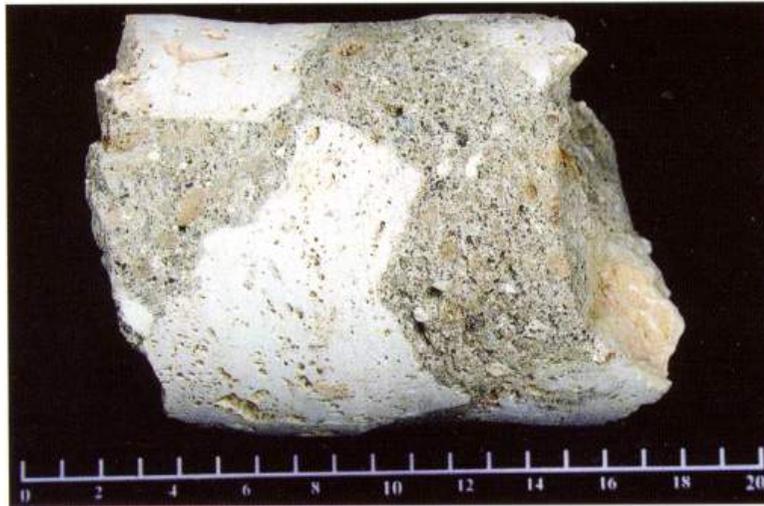
**Pozzolana (pulvis puteolanus):**



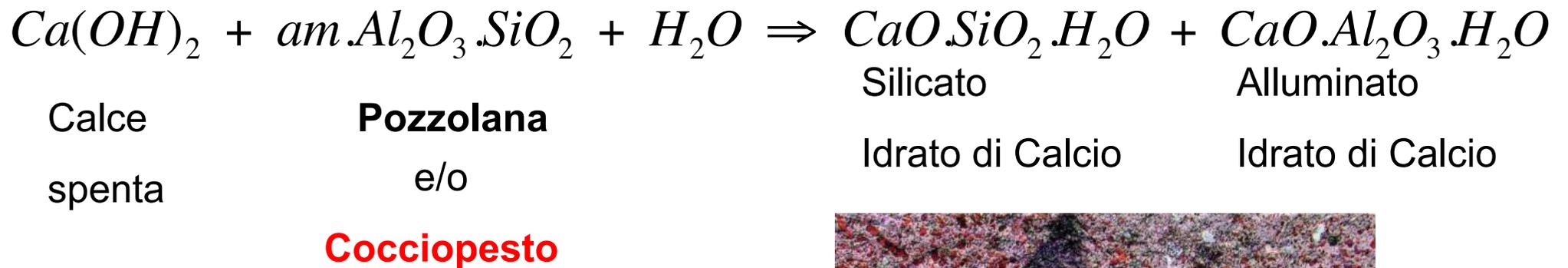
*da: Vitruvio- De Architectura, libro II. 30-20 a.C.*

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..

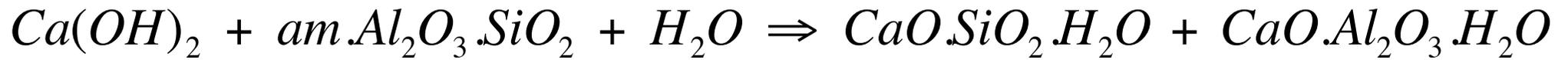


Malta romana con cocciopesto (chamotte) - I sec a.C..

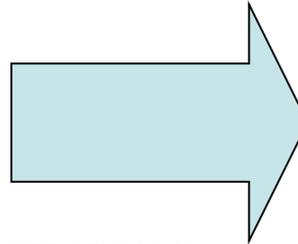


Costruito

## Leganti aerei - reazioni idrauliche



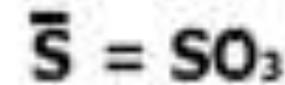
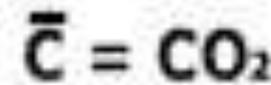
**CH + AS + H**



**CSH + CAH**

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

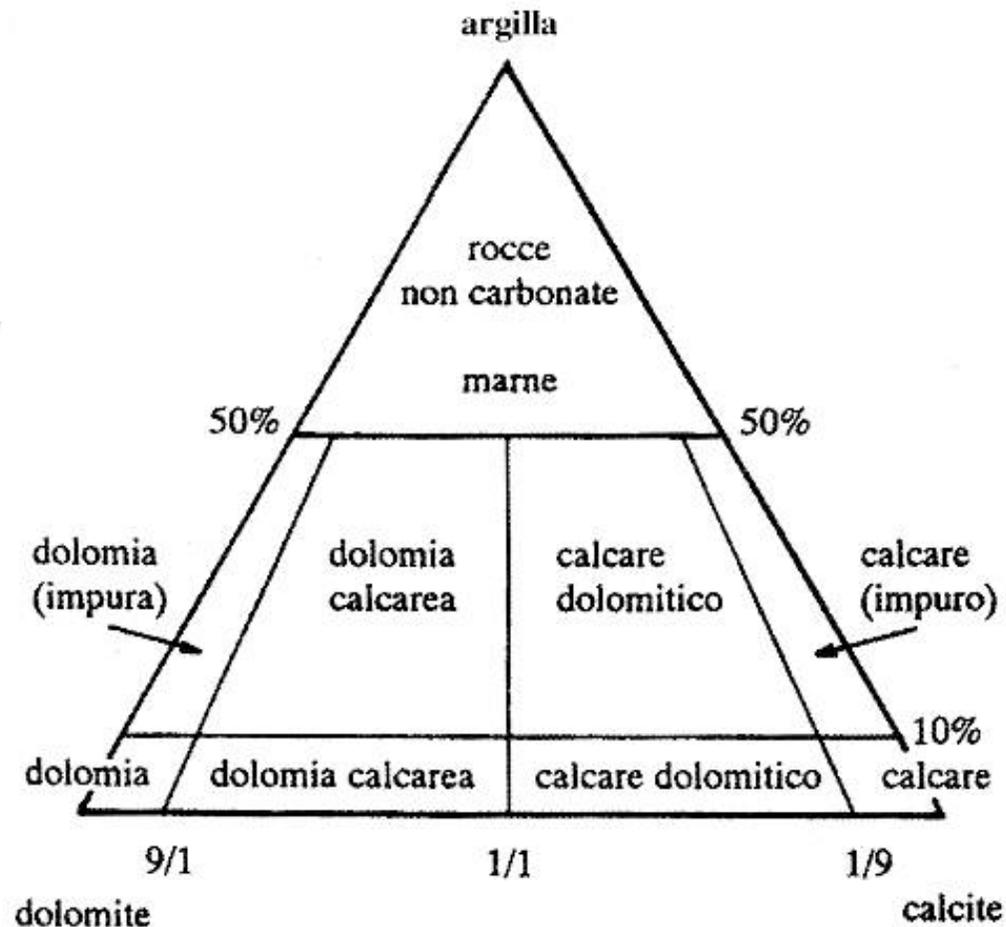
Si cavano nei monti di Padoa alcune **pietre scagliose**, le **calci** delle quali è eccellente nelle opere che si fanno allo scoperto e nell'**acque**, perciocché presto fa **presa** e si mantiene lungamente.

(...) 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.

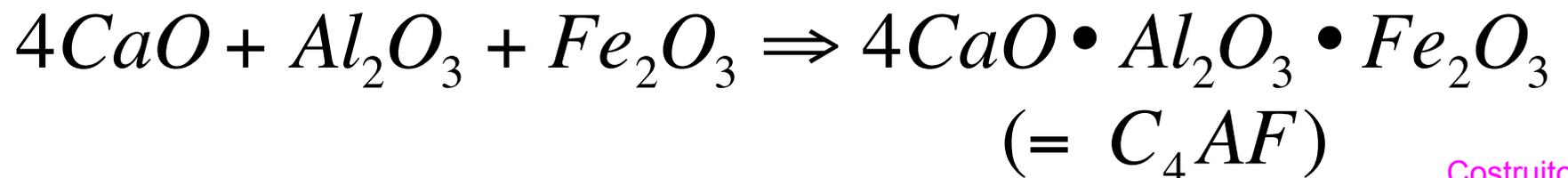
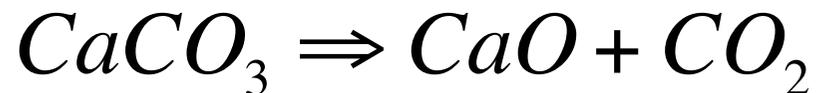
(...) e quanto più sarà macerata, tanto sarà più tenace e migliore, eccetto quella che di pietra scagliosa sarà fatta, perché **subito bagnata bisogna metterla** in opera, altrimenti si consuma e si abbrucia, onde non fa presa e diviene del tutto inutile.



**Calci aeree**  $\Rightarrow$  Argilla < 10%

**Calci idrauliche**  $\Rightarrow$  10% < Argilla < 22%

### Calcinazione di calcari marnosi



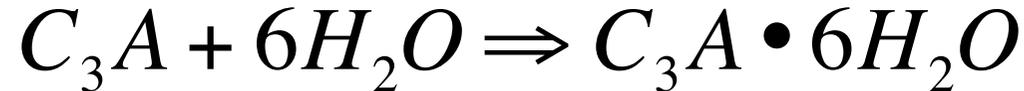
## Leganti idraulici

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):



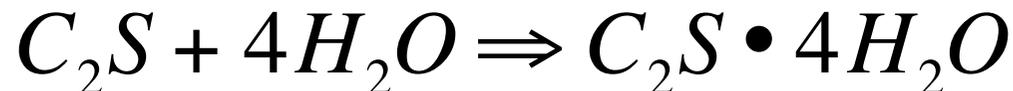
Idratazione del silicato tricalcico (alite):



Idratazione del ferro-alluminato tetracalcico (celite):

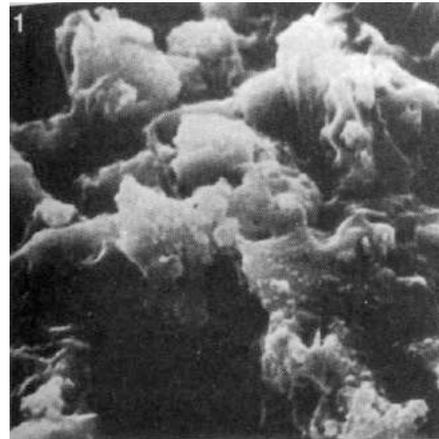


Idratazione del silicato bicalcico (belite):

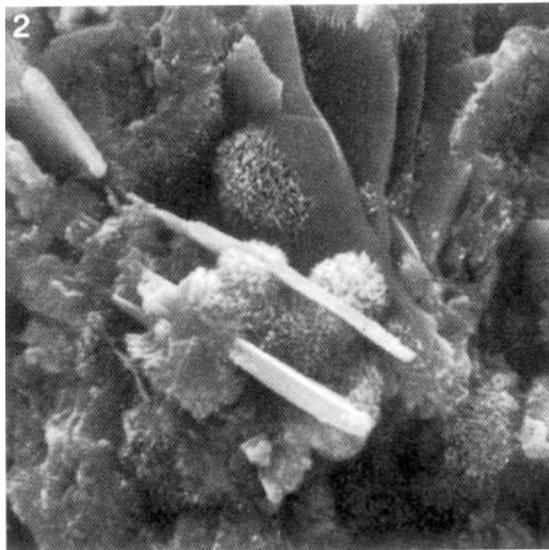


# Cemento

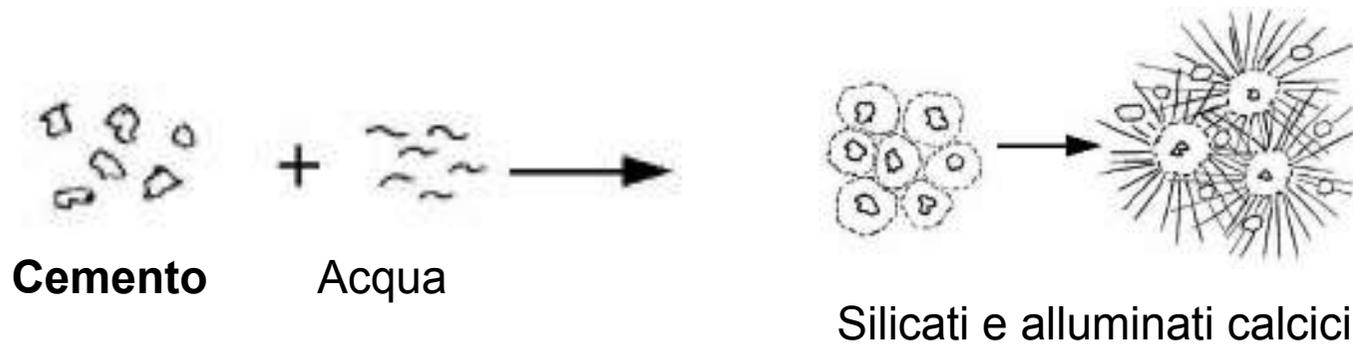
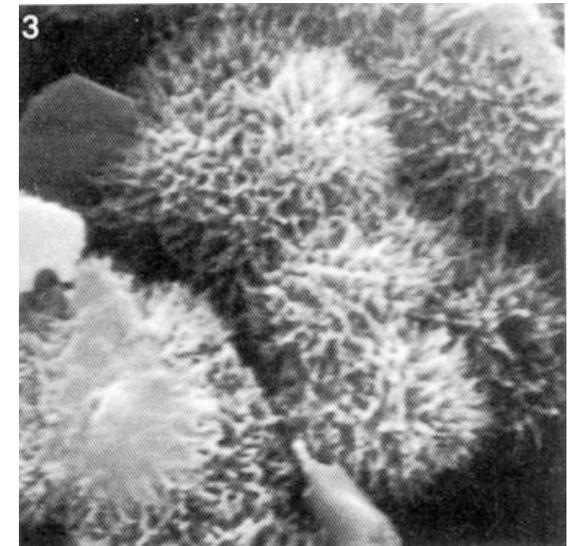
## Presatura e indurimento del Cemento Portland



2 h



30 gg



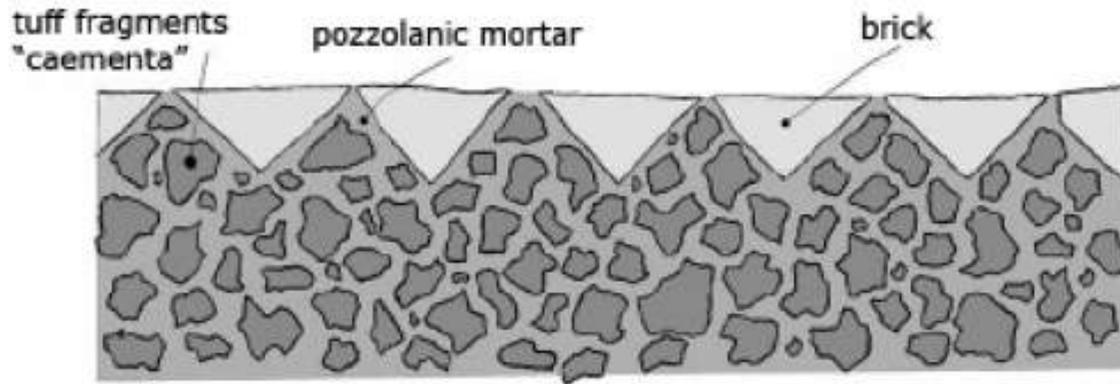
Costruito

## 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

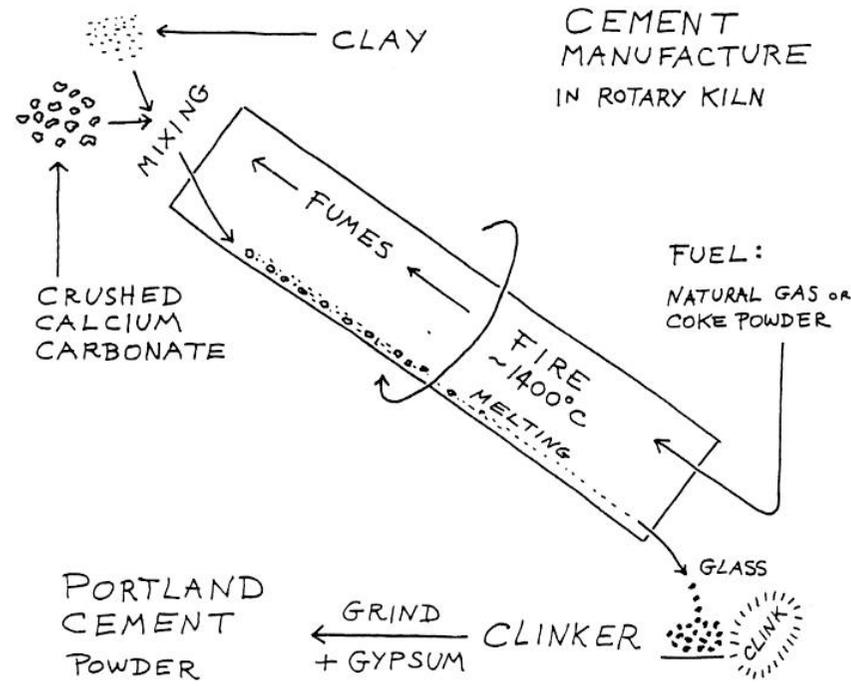
**1824:**

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.

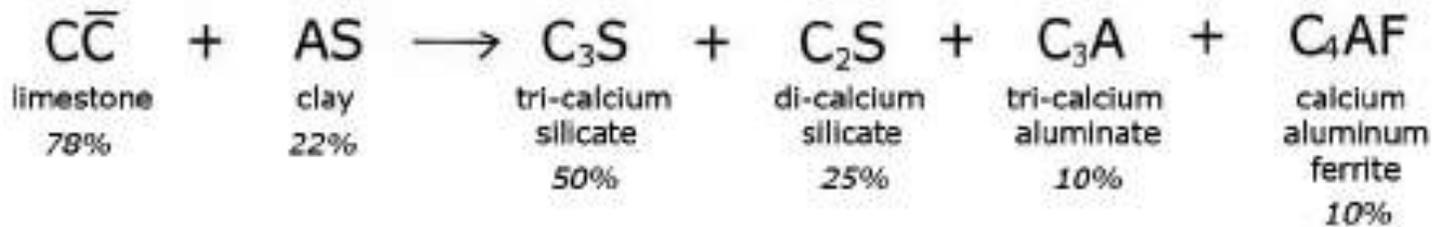
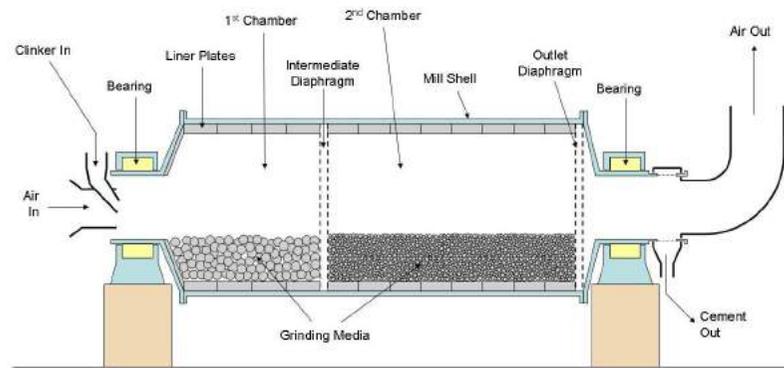
# Cemento



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

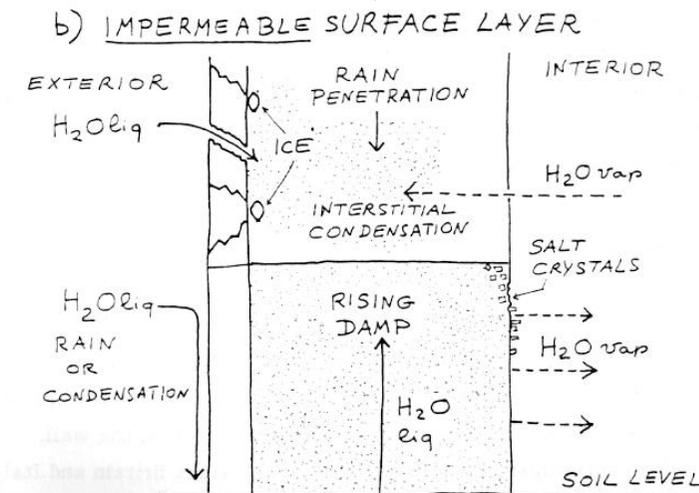
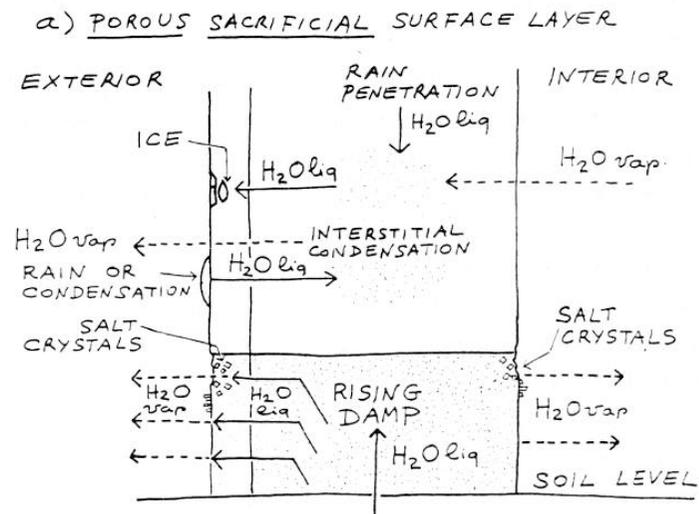
Tipo di calce	Indice di idraulicità	Tempo di presa	Tempo di indurimento
Calci debolmente idrauliche	0,10 - 0,16	15 giorni	1 mese
Calci mediamente idrauliche	0,16 - 0,31	10 giorni	2 settimane
Calci propriamente idrauliche	0,31 - 0,42	5 giorni	1 settimana
Calci eminentemente idrauliche	0,42 - 0,50	2-4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

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

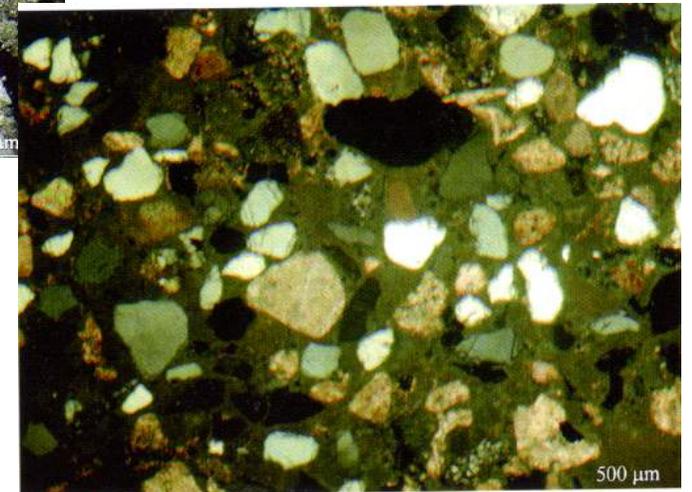
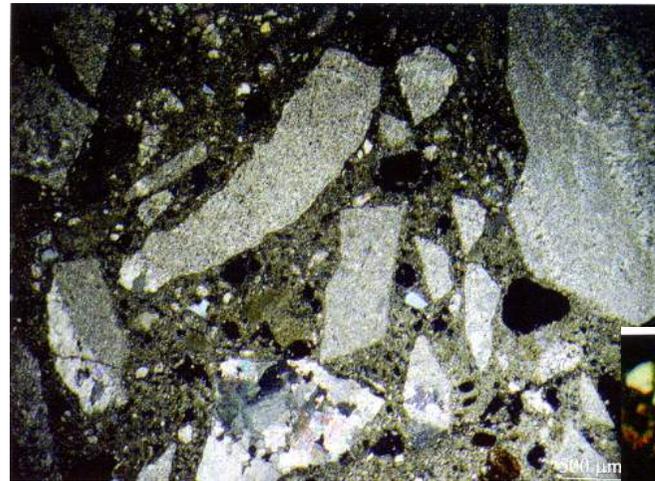
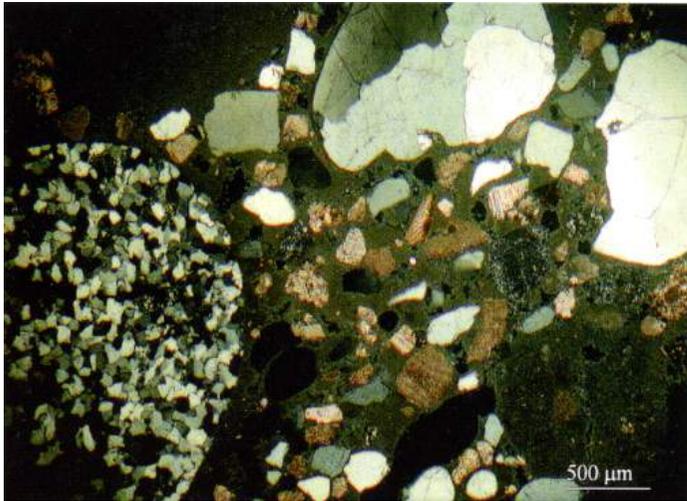
## Intonaco - extra

### 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*

