

The background image shows ancient stone ruins. In the center, there is a rectangular structure made of reddish-brown material, possibly a furnace or a specialized oven, set within a larger stone-walled enclosure. The walls are constructed from irregular, stacked stones. The ground is a mix of dirt and stone.

# Calcedicampo® Ovvero: I GEOPOLIMERI

Tutor: Gilberto QUARNETI

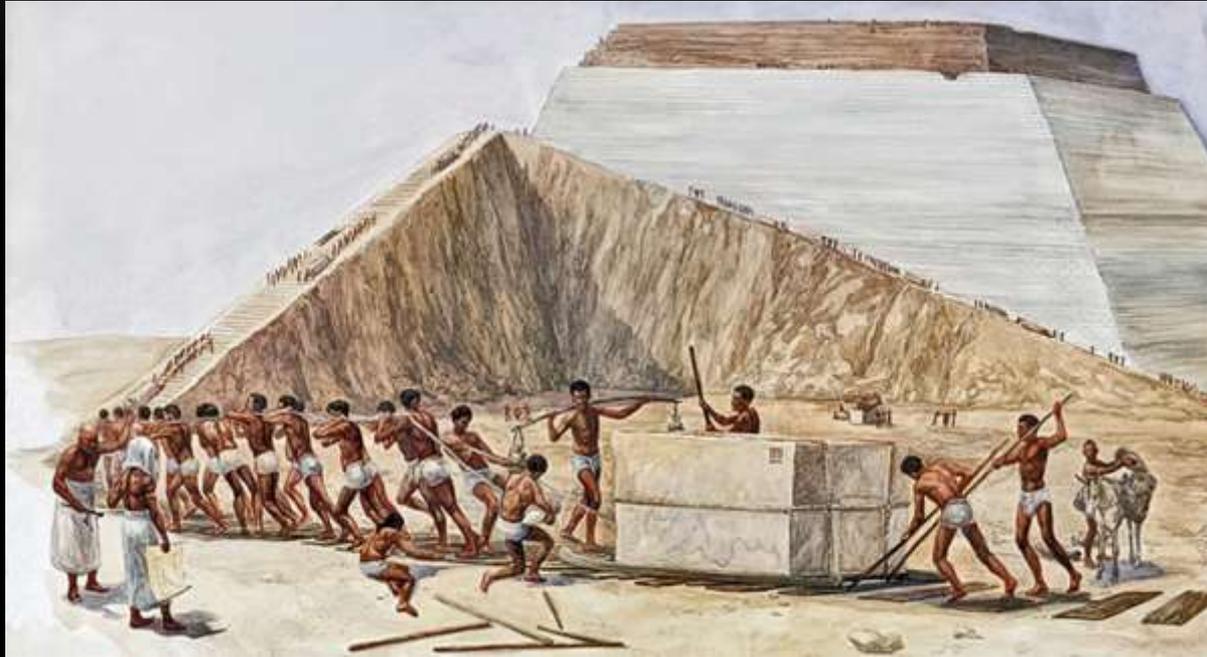
MIT Massachusetts Institute of Technology  
(Civil and Environment Engineering), Boston, USA  
Course: (ONE (ONE-MA3))

# IMPARIAMO DALLA STORIA



Secondo stime affidabili, la Piramide di Giza consiste di un totale di circa 2.300.000 blocchi di pietra calcarea e granito, con pesi che variano dalle 2.5 tonnellate alle 70 tonnellate. Non solo, ma bisogna inoltre aggiungere anche un rivestimento simile a uno specchio di 22 acri, costituito da 115.000 pietre lucidissime, ciascuna del peso di 10 tonnellate, che originariamente coprivano tutte le quattro facciate. Dopo essere stata staccata da un violento terremoto nel 1301 a.C., la maggior parte dei blocchi di rivestimento fu rimossa per la costruzione del Cairo.

L'ICONOGRAFIA TRADIZIONALE CI HA SEMPRE MOSTRATO UN ENORME NUMERO DI "SCHIAVI" CHE TRASCINA SU RAMPE PESANTISSIMI BLOCCHI DI PIETRA SENZA L'USO DELLA RUOTA.



IL PROF. J.DAVIDOVITS HA DIMOSTRATO CHE SI POSSONO PRODURRE GRANDI BLOCCHI DI CALCARE (VEDI FOTO) MEDIANTE LA FORMAZIONE, IN CASSAFORME, DI GEOPOLIMERI PREPARATI A GIZA, A TEMPERATURA AMBIENTE.



## LA STELE DELLA CARESTIA



Sulla “Stele della Carestia” si legge dell’uso di “nuovi materiali” per la costruzione delle piramidi.

## UNA SOLUZIONE ALCALINA: IL NATRON



Il natron (carbonato decaidrato di sodio) deriva il suo nome dalla parola egizia del sale "Ntry", che significa puro, divino, aggettivazione di "Ntr" che significa dio. Il simbolo del sodio (Na) deriva dal nome latino del "natrium". Il nome latino "natrium" deriva poi dal greco nítron, che a sua volta derivava dal nome egizio. La sostanza ha dato il nome all'antico luogo estrattivo, Wadi el-Natrun, un lago quasi asciutto in Egitto che conteneva elevate quantità di carbonato di sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

## NATRON

Il natron è un sale che è stato usato nella pratica dell'imbalsamazione



## ALTRA SOLUZIONE ALCALINA: LA CALCE



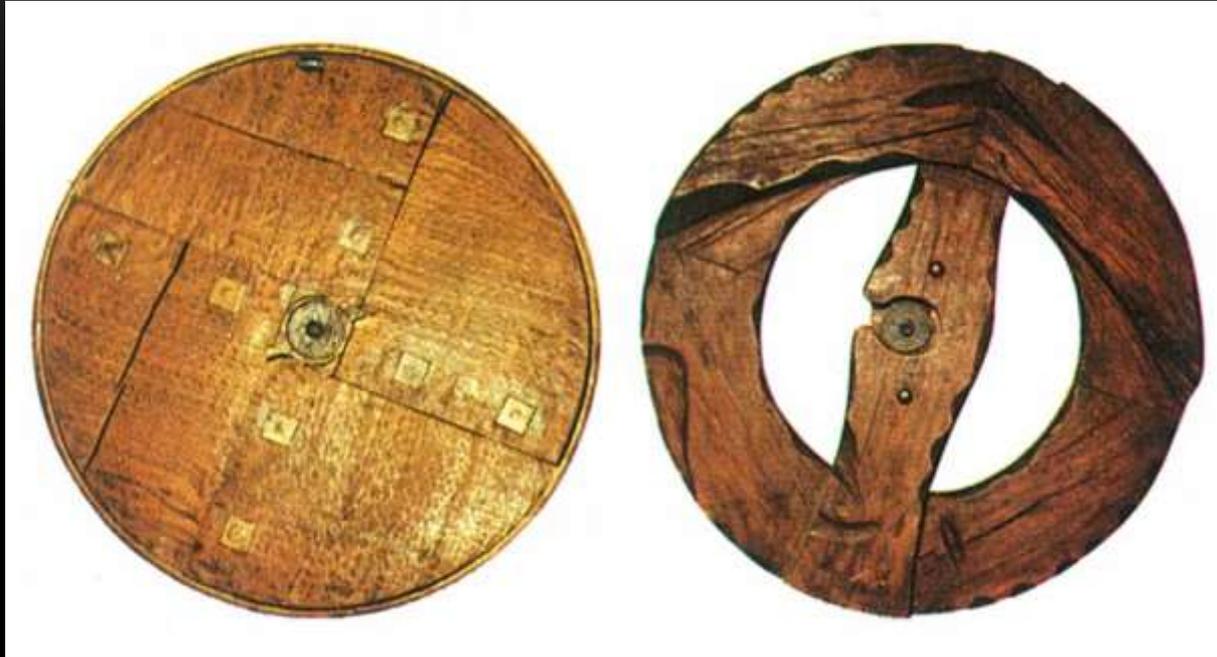
Carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ )



Grassello di calce [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ].

Soluzioni alcaline si sono potute ottenere, nella storia, con l'idrato di calcio, col natron, con il muriato di soda ed altro, dipendentemente dall'epoca e dalla cultura. I Fenici ed i Romani usavano l'idrato di calcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], ottenuto dalla calcinazione di calcari [ $\text{CaCO}_3$ ].

## UNA CONSTATAZIONE STORICA



All'epoca della costruzione delle piramidi la ruota era ancora sconosciuta agli Egizi.



## L'indagine scientifica

Michel Barsoum, professore di scienze dei materiali alla Drexel University, Ph, USA, originario dell'Egitto. Il professor Barsoum ha voluto analizzare la struttura di gran parte dei blocchi petrigni della grande piramide di Giza, per fare chiarezza sulla teoria di Davidovitz.



Ecco alcune considerazioni:

Come si può raggiungere tale perfezione tagliando la pietra in una lontana cava ed assemblare il manufatto con millimetrica precisione.



I CONCI ESTERNI SONO SICURAMENTE DIVERSI DA QUELLI CHE COSTITUISCONO LA MASSA INTERNA.  
SI NOTINO LE INCISIONI SULLA FACCIA ESTERNA DEI CONCI DI COPERTURA (IN PRIMO PIANO).



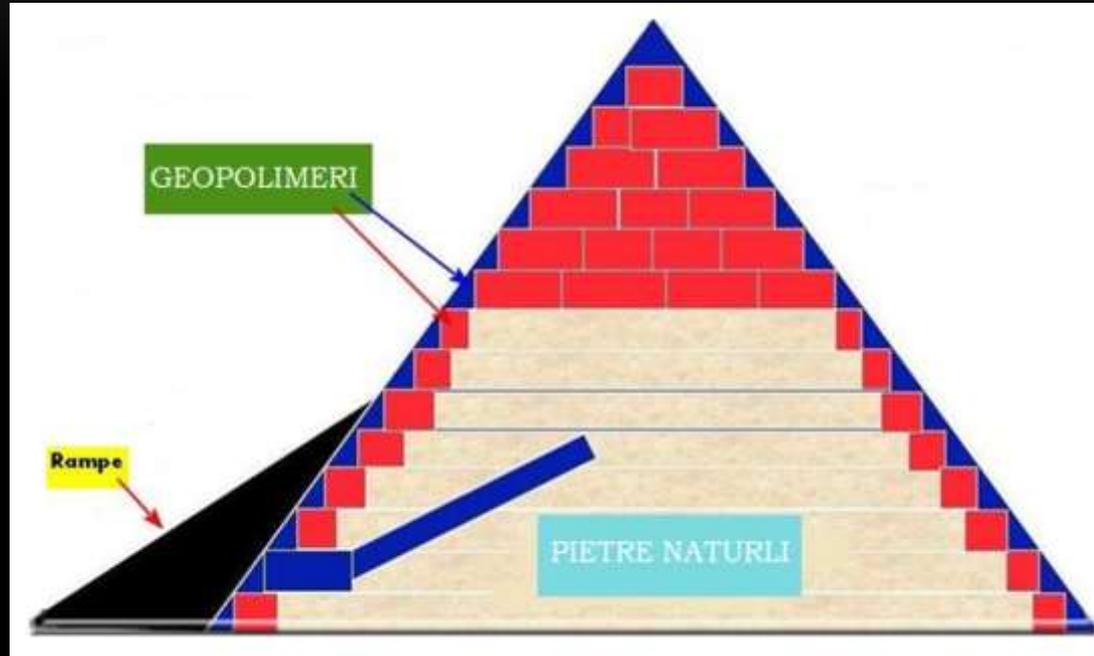
QUI LA DIFFERENZA È ANCORA PIÙ EVIDENTE.



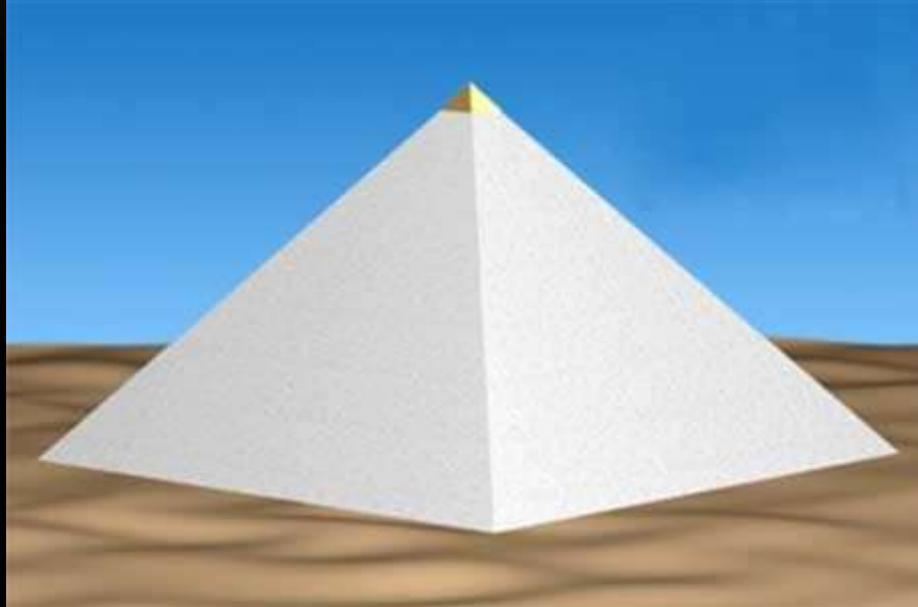
L'ESEMPIO DELLA PRESENZA DI QUESTO ENORME BLOCCO MONOLITICO NON DA SPAZIO A  
NESSUNA ALTRA IPOTESI SE NON LA FORMAZIONE DI CALCESTRUZZI GEOPOLIMERICI  
PREPARATI IN CASSAFORME APPRONTATE LOCALMENTE.



## ECCO LA RISPOSTA GRAFICA DEL PROF. BARSOUM



COSÌ DOVEVA APPARIRE LA GRANDE PIRAMIDE DI GIZA UNA VOLTA ULTIMATA.  
LA CUSPIDE ERA RICOPERTA DA UNA LAMINA D'ORO.



IL BAGNO DI KERKOUANE , VII SEC A.C.  
IL GEOPOLIMERO CHE LO CARATTERIZZA È COSTITUITO DA CALCE E COCCIOPESTO.



SULLA STESSA AREA SI TROVANO ALTRI SPLENDIDI BAGNI IN GEOPOLIMERI





Dimostrazione pratica di blocchi di geopolimero del tipo rinvenuto a Kerkouane

## COSA SONO I GEOPOLIMERI?

I GEOPOLIMERI SI PRODUCONO A PARTIRE DA UNA SOLUZIONE ALCALINA [CA(OH)<sub>2</sub>] (MESCOLOTA “A FREDDO” - SENZA L’INTERMEDIAZIONE DI FORNI), E DA MATERIALI NATURALI, COME LE CENERI VULCANICHE, LE POZZOLANE, LA POMICE E DA MATERIALI ARTIFICIALI, COME IL METACAOLINO, IL COCCIOPESTO, E QUALSIASI ALTRA SORGENTE DI ALLUMINA E SILICE, PURCHÉ FINEMENTE POLVERIZZATA, OVVERO AD ALTA SUPERFICIE SPECIFICA DI CONTATTO (SSC). IL PREFISSO “GEO” STA AD INDICARE CHE I GEOPOLIMERI SONO CARATTERIZZATI DA COMPOSIZIONE CHIMICA E STRUTTURA MINERALOGICA DEL TUTTO SIMILI A QUELLE TIPICHE DELLE ROCCE NATURALI, DI CUI MOSTRANO LE PRINCIPALI PROPRIETÀ: DUREZZA, STABILITÀ CHIMICA E LONGEVITÀ.

Cocciopesto o matton pesto?



**COCCI DI VASI DI SAMO (GRECIA)**



Argilla finissima (ASF – Allumina, Silice, Ferro)



Fase di asciugatura dei vasi in argilla (Lat. TESTA).

## Cocciopesto

La cottura dell'argilla avviene a bassa temperatura.



## Testa tunsam (lat) - Cocciopesto

Frammenti di coccio dopo la cottura.



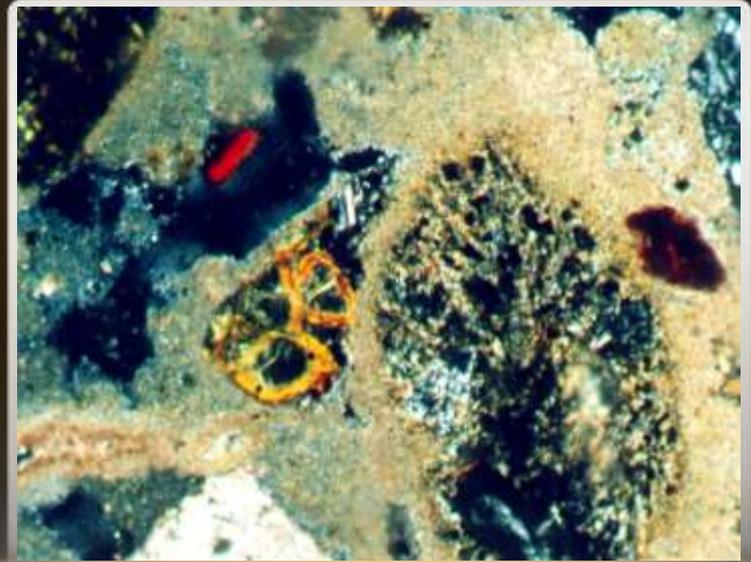
COCCI DI TEGOLI ED EMBRICI. TESTACCIO (MONTE DEI COCCI), ROMA.



## Microscopia ottica

NOTA

La reazione pozzolanica comporta una dissoluzione di silice e allumina che si disperdono nel legante e poi reagiscono con l'idrossido di Ca, tramutandosi in gehlenite. La gehlenite è un minerale di neoformazione prodotto dalla reazione alcali-calce-idraulicizzante pozzolanica (silico-alluminati amorfi).





Pozzolane ridotte il finissima polvere.



Il “cocciopesto” (TESTA TUNSAM), come qualsiasi altro elemento pozzolanico reattivo, deve essere ridotto in finissima polvere (PULVIS).



Ecco la cenere di alcune pozzolane di varia origine ed energia:

Roma:

1 - Tivoli;

2 - San Paolo;

3 - Lunghezza;

4 - Sacrofano;

5 - Salone.

Campi flegrei

6 - La zeolitica di Nola;

7 - Pozzuoli;

8 - Bacoli.

Mar Egeo

9 - Santorino.



## La pozzolana nera di Santorino (Mar Egeo)

La nera di Santorino (Mar Egeo) è la pozzolana naturale più energica di quelle conosciute.



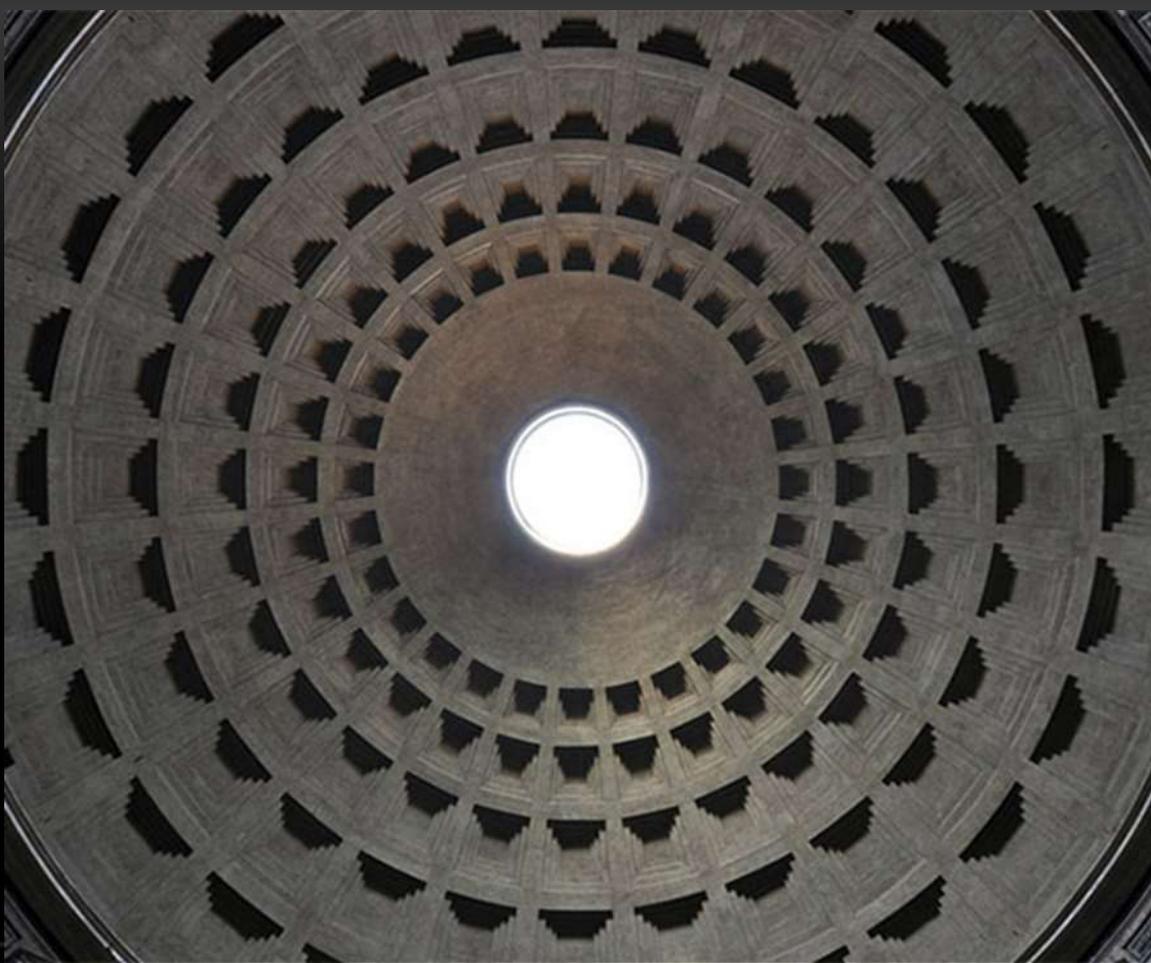
Tharros, Sardinia - Phoenician  
walls found in the sea (VIII  
century BC)

Tarros, Sardegna – Muratura  
Fenicia trovata sott'acqua  
ancora intonsa (VIII sec. A.C.).





Il PANTHEON in ROMA è un enorme monolito geopolimerico.



Il Pantheon, Roma: la cupola.



Sezione del Pantheon.



Sezione di OPUS CAEMENTICIUM romano.  
Si notino i pezzami di mattone aggregati.

# Opus Caementitium: La ricetta del Pantheon.

Esempio di OPUS CAEMENTITCIUM rifinito con la tecnica detta OPUS RETICULATUM.

Un geopolimero monolitico che resiste nei secoli.

calx intrita	(calce spenta di fossa),
pulvis Baianus	(pozzolana di Baia),
testa tunsam	(coccio pesto),
pumex	(pomice),
sabulum	(sabbia silicea).

L'impasto battuto ed essiccato, mostra avere un peso

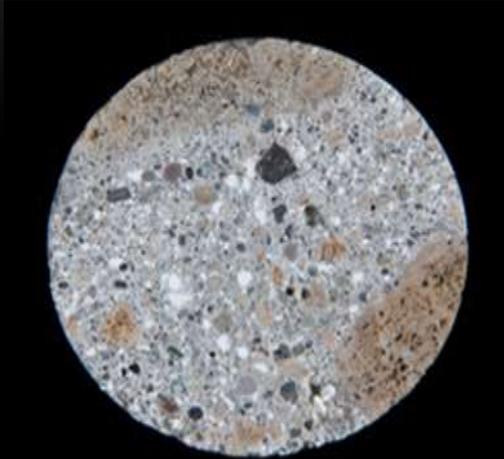
specifico medio di 2,0 K/litro; e, nonostante ciò, il relativo

coefficiente di diffusione al vapore ( $\mu$ ) è pari a 3.

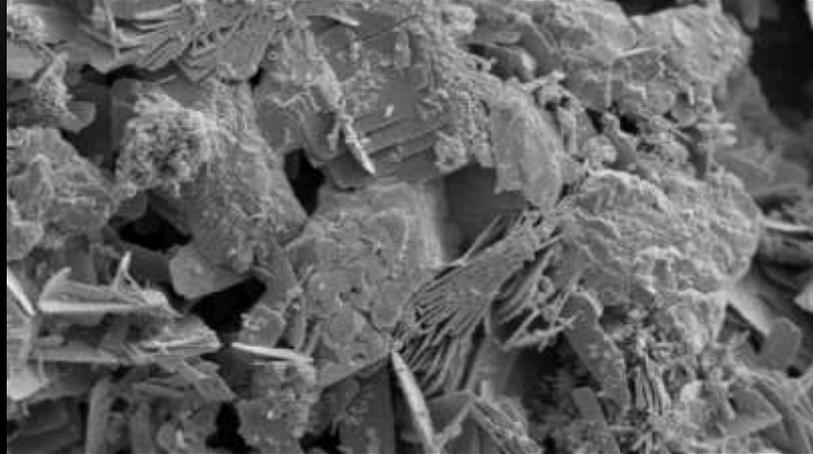
Si noti poi, che nell'impasto nel quale tutta la calce

[Ca(OH)<sub>2</sub>] si è combinata con i silico-alluminati delle pozzolane (pozzolana di Baia, cocciopesto, pomice), non vi è alcun residuo di calce libera; e avendo come aggregato sabbia silicea (sabulum) e non carbonatica, che resiste egregiamente all'aggressione chimica, ben si comprende come questo manufatto abbia resistito integro alle ingiurie del tempo nei secoli.





Campione prelevato  
dall'opus caementicium.



Visione al SEM del C-A-S-H costituente il  
geopolimero romano.

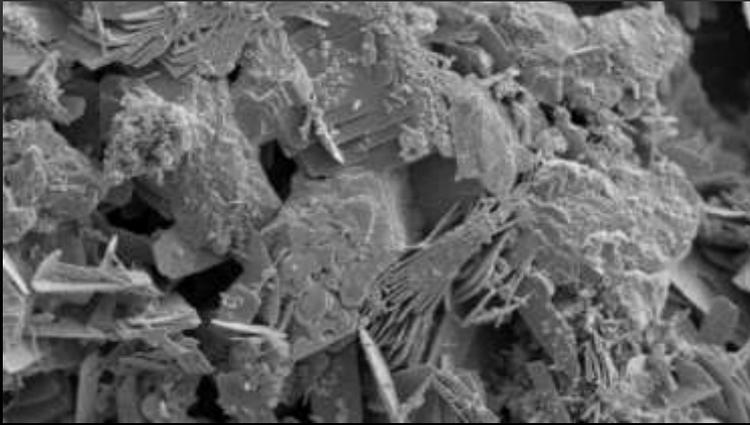


1800: l'avvento della civiltà del cemento. Ovvero, l'inizio della fine.

Il brevetto 5022 del 21 ottobre 1824  
IL CEMENTO PORTLAND

Ponte in cemento armato  
(OPC – Ordinary Portland Cement).  
La struttura ha solo 34 anni di vita.  
(Florida, USA)





## CHE FARE? ECCO L'UOVO DI COLOMBO

Nella definizione di “geopolimeri” si legge:

“I geopolimeri si producono a partire da una soluzione alcalina [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] (mescolata “a freddo” - senza l’intermediazione di forni), e da materiali naturali, di qualsiasi origine, contenenti allumina e silice, purché finemente polverizzati, ovvero ad alta superficie specifica di contatto (SSC). I gusci delle uova (la calce) e la lolla di riso (Silice-Allumina), rispondono in pieno a questi requisiti.

Oggi, uno dei problemi è come riutilizzare in modo adeguato, le circa 250.000 tonnellate di scarti d'uovo, prodotti ogni anno dalle industrie alimentari di tutto il mondo.

Da un'indagine condotta nel 1997 è risultato che le uova utilizzate dalle industrie, circa il 50% della produzione italiana, producevano da 1000 a 3000 tonnellate di scarti ogni anno: questi, per il 26,6%

venivano utilizzati come fertilizzante, il 21,1% veniva utilizzato per la produzione di cibo animale (mangimi), il 26,3% era avviato in discarica e il 15,8% in altri usi.

Nella totalità il potenziale teorico del riciclo dei gusci dalle industrie italiane fornirebbe circa 55.000 tonnellate di carbonato di calcio all'anno.

In ultima analisi, ciò che interessa maggiormente, è che i gusci delle uova di pollame sono costituiti principalmente da carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), con la presenza di minime tracce di altri minerali.



Gusci d'uovo ridotti in sabbia ( $\text{CaCO}_3$ )



Sabbia di gusci d'uovo calcinata ( $\text{CaO}$ )



E, per quanto riguarda il materiale pozzolanico, necessario per la formazione di un geopolimero, invece di cercare sabbie reattive, scavando il suolo o le pendici dei vulcani, si potrebbe, con risultati straordinari, prendere giovamento da piante erbacee ciclicamente rinnovabili, quali sono le piante del riso e del farro.





Lolla contenente il chicco di riso.



Lolla di riso selezionata

Lolla di riso calcinata a bassa temperatura (RHA – Rice Husk Ashes).

CaO (Uova) + H<sub>2</sub>O + SiO<sub>2</sub> • Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (RHA)  
CSH (geopolimero)



Lolla di riso calcinata a bassa temperatura (RHA – Rice Husk Ashes).

Lolla di riso calcinata e depurata.

Il materiale è restituito, dal processo, di color bianco.





Un esempio di applicazione di malte geopolimeriche

Il campanile di San Pietro, Piacenza (prima del restauro).



Lo stesso campanile rifinito con malte geopolimeriche  
dal naturale colore della materia.



Un geopolimero uguale alle antiche malte fenice o  
romane: resistenti ed eterne.

GRAZIE PER LA VOSTRA ATTENZIONE

STATEMI SANI

[www.quaderniquarneti.it](http://www.quaderniquarneti.it)

