

22 novembre
2022 **Tecnologie e**
Design di qualità
4S ore 08.30 - 19.00





Tecnologie e Design di qualità

11.00 - 11.40

OPUS CAEMENTICIUM ED ECONOMIA CIRCOLARE

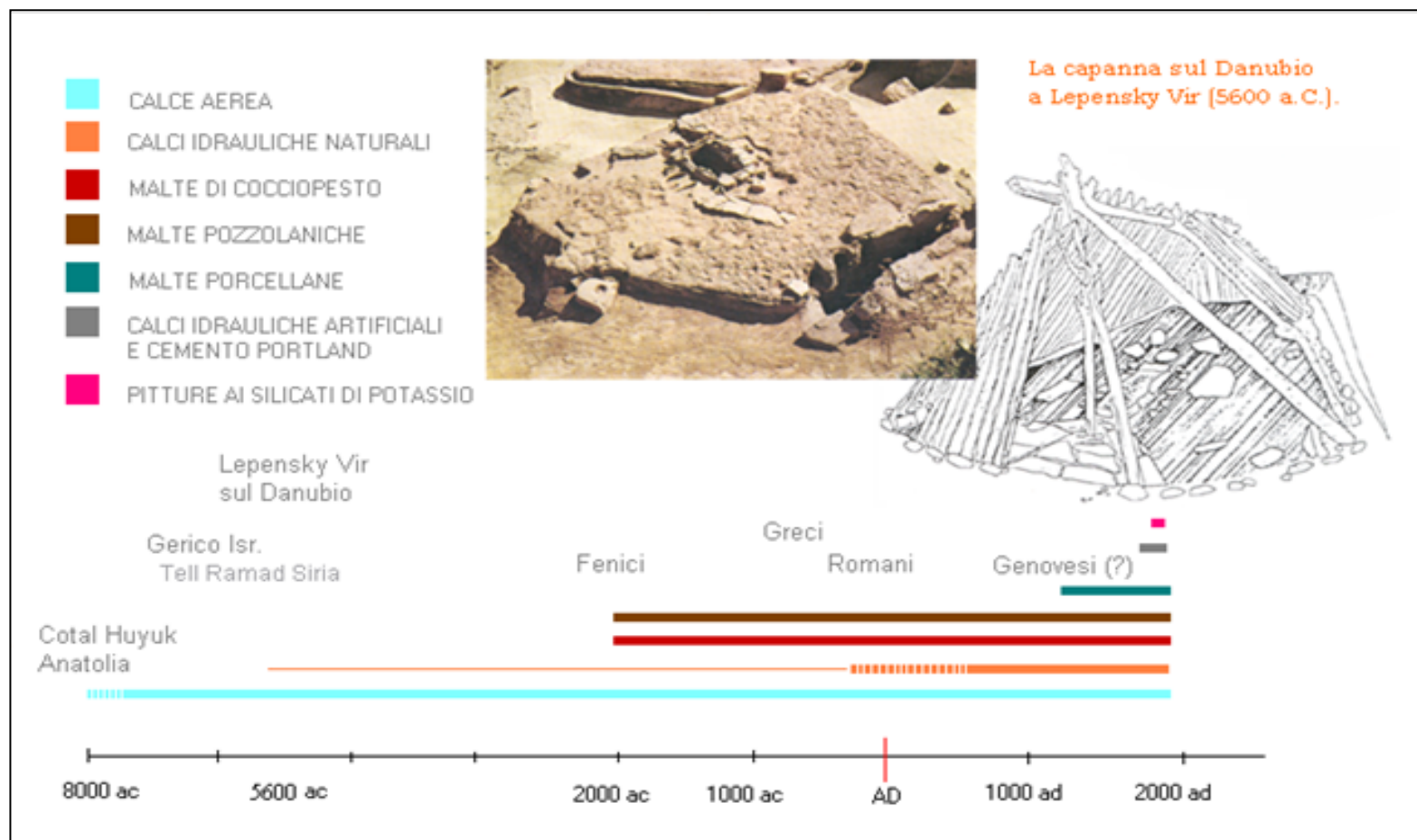
> Il riuso della materia, dal passato una soluzione per il futuro *(Gianni Nerobutto)*

- Storia ed evoluzione dei leganti
- Qualità e composizione delle malte storiche
- Le malte per il restauro e la bioedilizia
- Per ogni intervento, una specifica malta
- Il riuso della materia

11.40 - 12.00

DIBATTITO CON I PARTECIPANTI

EVOLUZIONE DEI LEGANTI NELLA STORIA



Le calce idrauliche naturali, ottenute da marna, non hanno origine certa (color arancio). Si trovano espliciti riferimenti dal 1400 in poi. Leon Battista Alberti, Francesco di Giorgio Martini, Piero Cattaneo, Andrea Palladio, Juvarra, ecc.



La ricetta originaria dell'OPUS CAEMENTICIUM del Pantheon.

calx intrita

(calce spenta di fossa)

pulvis Baianus

(pozzolana di Baia)

testa tunsam

(cocciopesto)

pumex

(pomice)

sabulum

(sabbia)



Il PANTHEON in ROMA
è un enorme monolite
che resiste nei secoli.

- Cupola 146 piedi (43,3 metri)
- 6 strati anulari di differente peso

LE PRIMARIE MATERIE IMPIEGATE



- GRASSELLO DI CALCE;
- CALCE VIVA;
- POZZOLANE;
- CALCE IDRAULICA NATURALE;

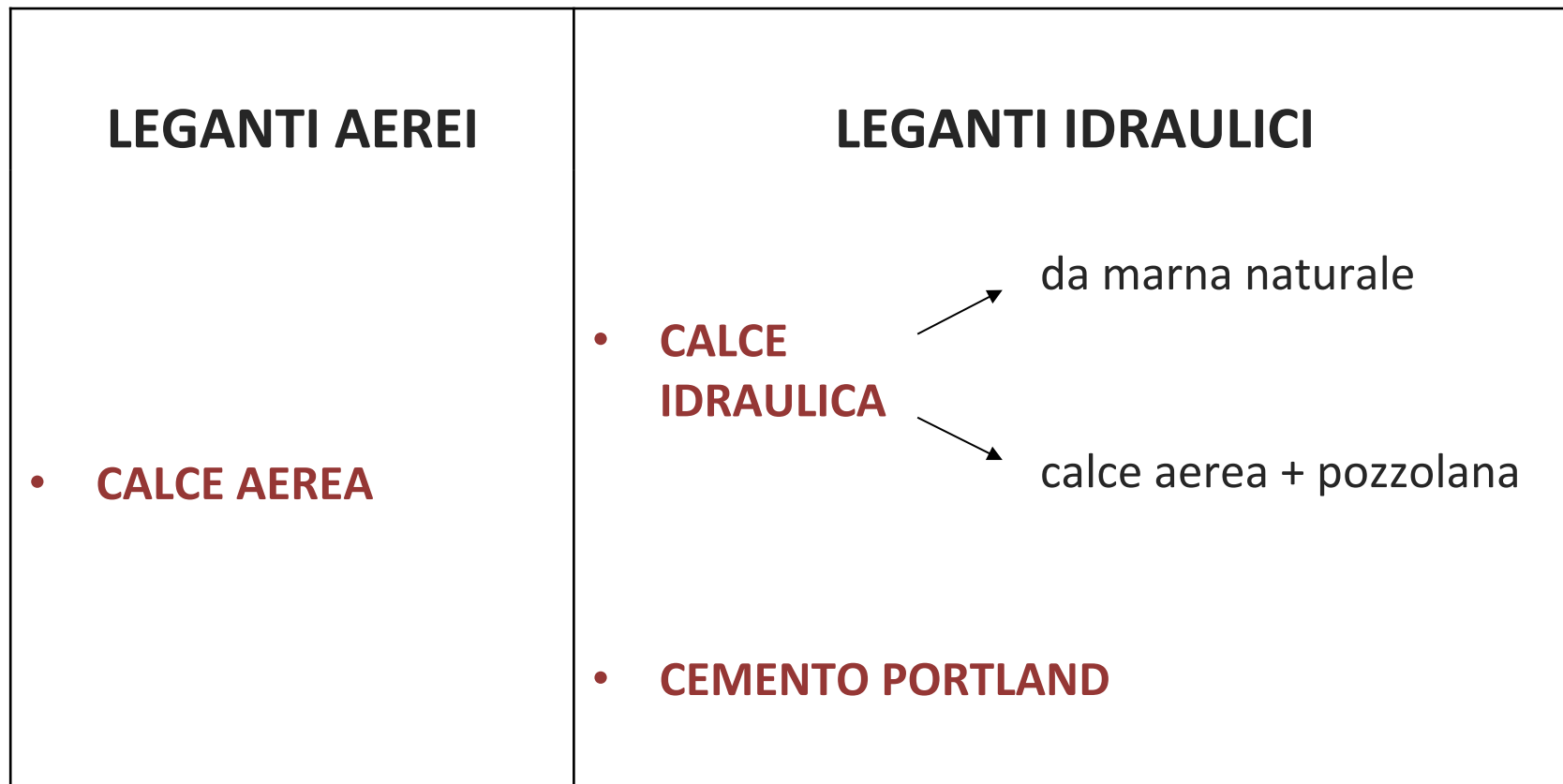


- SABBIE CARBONATICHE E SILICEE;
- POLVERI DI TUFI E ARENARIE;
- GHIAIETTE DI VARIA PEZZATURA E COLORE;
- COCCIOPESTO DI VARIO COLORE E GRANULOMETRIA;
- SABBIE TTE COLORATE, DALLA FRANTUMAZIONE DI PIETRE E MARMI.



Leganti in edilizia

due grandi categorie:



tempo

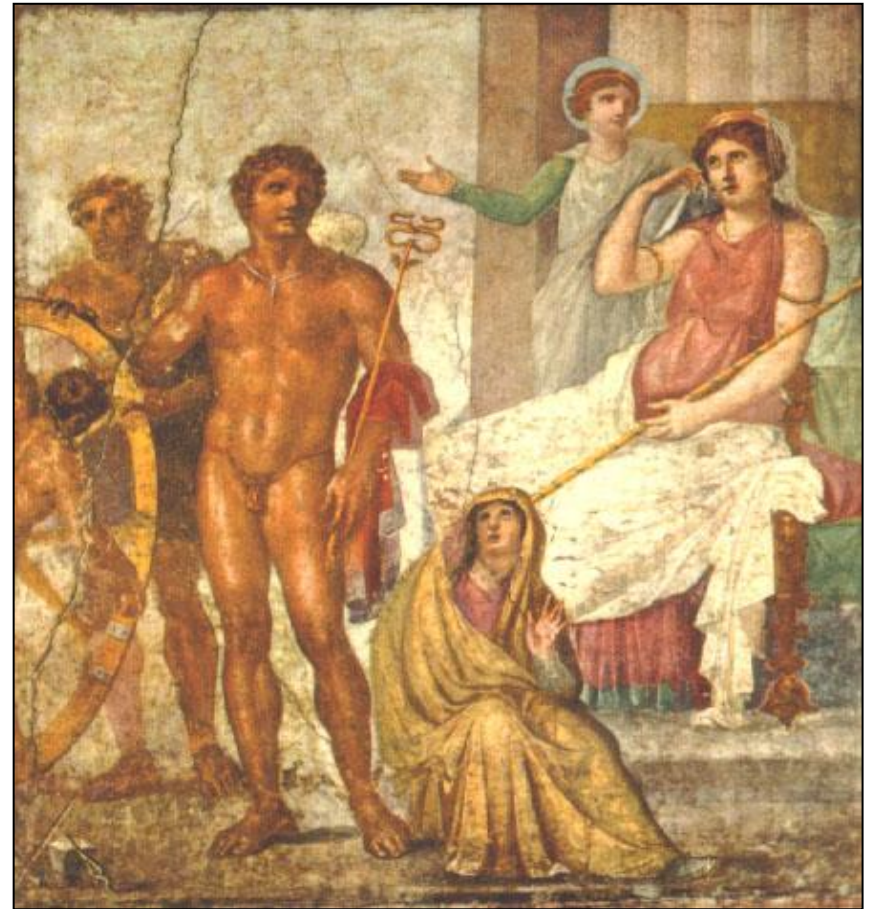
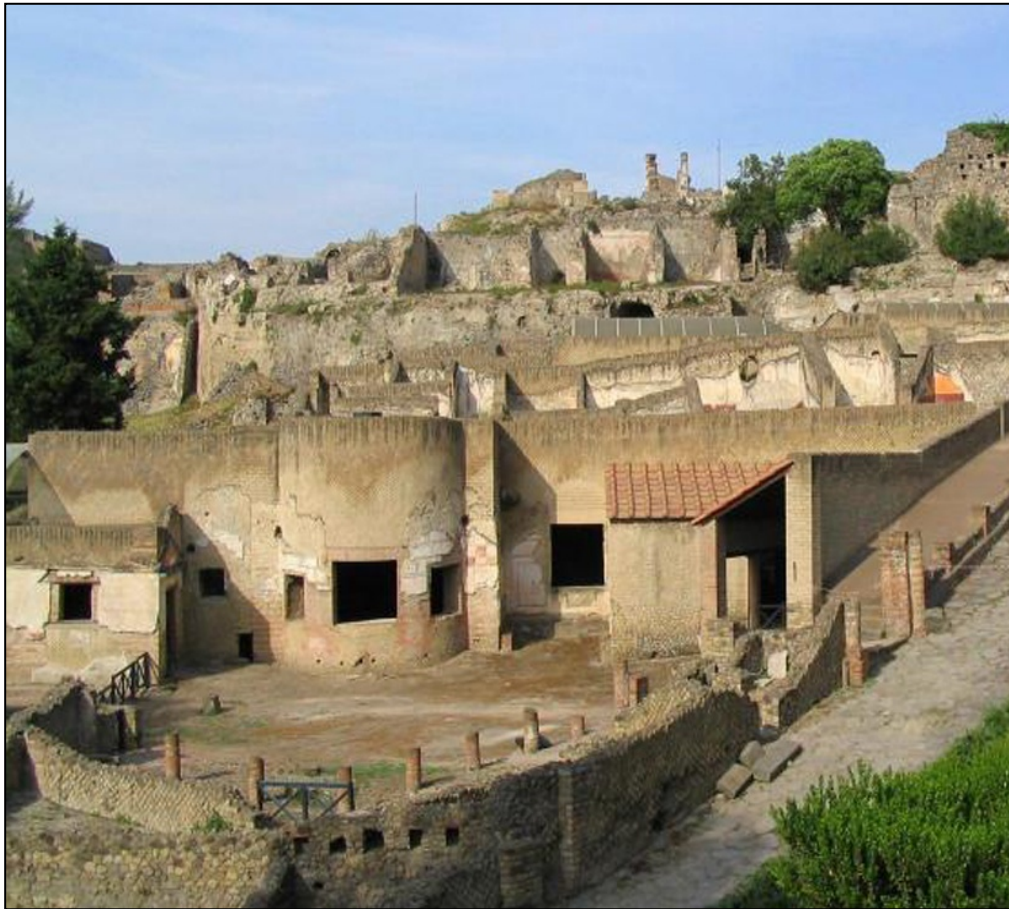


Il legante più antico: CALCE AEREA	Fenici e Romani MISCELAZIONE A FREDDO: CALCE AEREA + POZZOLANE	Riferimenti certi dal 1400: CALCE IDRAULICA NATURALE	Primo brevetto 1824: CEMENTO PORTLAND
---	--	---	--

LA CALCE

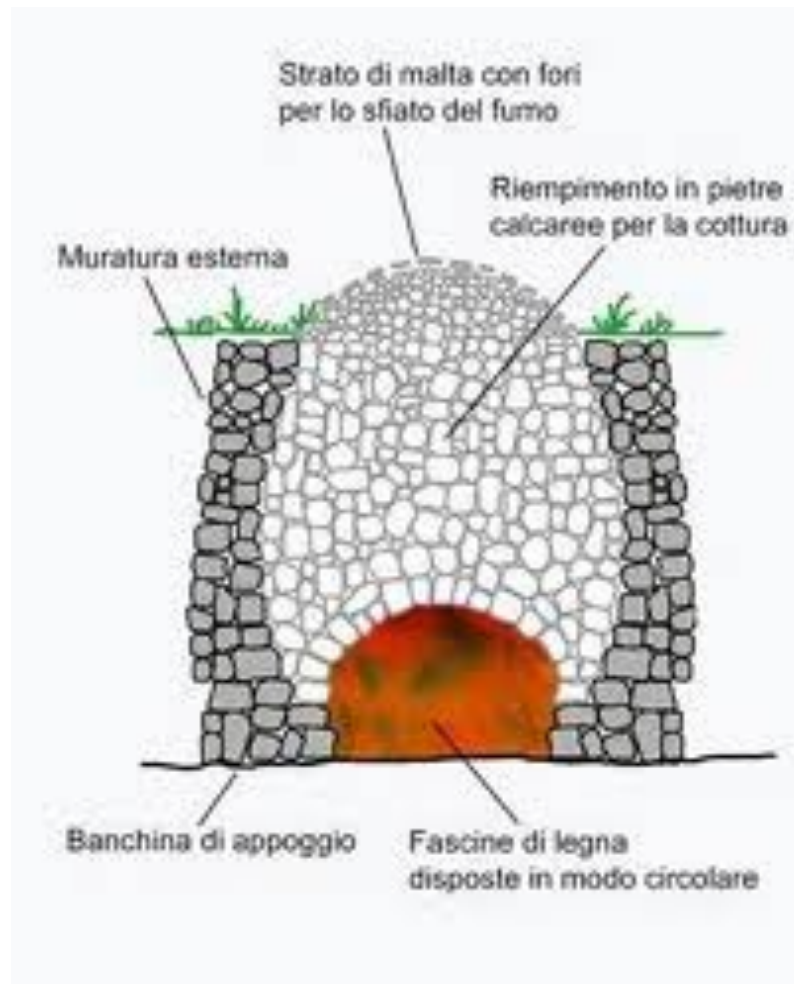


La calce venne impiegata nell'antichità, prevalentemente per la preparazione del calcestruzzo, malte da costruzione e da intonaco; inoltre venne diffusamente impiegata per la tecnica dell'affresco la tinteggiatura e la formazione di coperture e pavimentazioni.



Come veniva prodotta la calce in passato?

Le «*calchère a tino*» sono state utilizzate dal III sec. a.C. (Plinio) fino alla prima metà del 1900 (in ambito rurale).



CALCE AEREA

Carbonato di Calcio CaCO_3 $\longrightarrow$ Calce Viva CaO

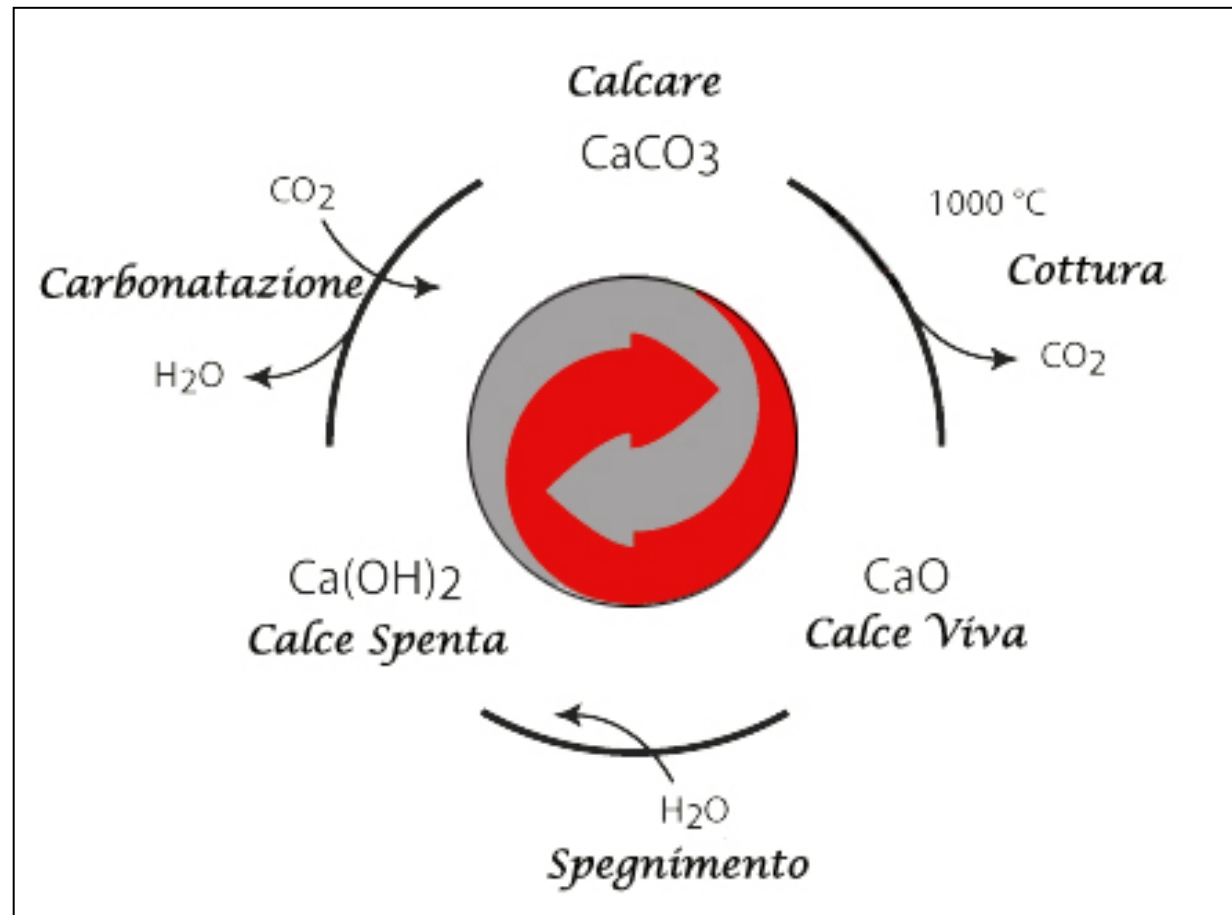


CALCE IDRATA - CALCE SPENTA
 Ca(OH)_2



GRASSELLO - CALCE SPENTA
 Ca(OH)_2

CALCE AEREA COMPLETAMENTE ESTINTA [Ca(OH)_2],
ESENTE DA IMPURITÀ O ADDITIVI OTTENUTA DALLA
CALCINAZIONE, A BASSA TEMPERATURA (850-900°C
CIRCA), DI CALCARI.



Ciclo della calce

Modello Ecosostenibile

PROPRIETÀ DELLE MALTE DI CALCE AEREA

QUALITÀ:

- MOLTO POROSE E TRASPIRANTI
- NON CONTENGONO SALI IDROSOLUBILI DANNOSI

LIMITI:

- ASCIUGANO SOLO IN PRESENZA DI ARIA
- MENO RESISTENTI IN AMBIENTI UMIDI
- POCO RESISTENTI ALL'AZIONE CHIMICA ED ALLE INTEMPERIE
- BASSA RESISTENZA MECCANICA

CALCE IDRAULICA NATURALE NHL 2- 3.5 - 5

CALCE IDRAULICA NATURALE, OTTENUTA DALLA COTTURA DI CALCARI MARNOSI, RICCHI DI SILICE, IN FORNO TRADIZIONALE A STRATI, CON PROCESSO LENTO A TEMPERATURE INFERIORI AI 1000°C - PER OTTENERE UNA CALCE POROSA E REATTIVA.



CALCARE MARNOSO (CONTIENE ARGILLA) → CALCE IDRAULICA NATURALE

PROPRIETÀ DELLE MALTE DI CALCE IDRAULICA NATURALE

QUALITÀ :

- MOLTO POROSE E TRASPIRANTI
- BASSO CONTENUTO DI SALI IDROSOLUBILI DANNOSI (COTTURA CON ANTRACITE)
- MAGGIORMENTE RESISTENTI IN AMBIENTI UMIDI
- MAGGIORMENTE RESISTENTI ALL'AZIONE CHIMICA ED ALLE INTEMPERIE

LIMITI:

- CONTENGONO COMUNQUE UNA PERCENTUALE DI CALCE AEREA (CALCE LIBERA)
- RESISTENZA MECCANICA LIMITATA

CALCE POZZOLANICA

è una calce idraulica ottenuta dalla miscelazione a freddo di:



CALCE AEREA PURA
AD ALTO TITOLO DI IDRATO DI CALCIO

&

POZZOLANE NATURALI
CON DIVERSA SUPERFICIE
SPECIFICA ED ENERGIA



PROPRIETÀ MALTE DI CALCE POZZOLANICA

QUALITÀ :

- MOLTO POROSE E TRASPIRANTI
- ASSENZA DI SALI IDROSOLUBILI DANNOSI
- MOLTO RESISTENTI IN AMBIENTI UMIDI
- MOLTO RESISTENTI ALL'AZIONE CHIMICA E ALLE INTEMPERIE
- ASSENZA DI CALCE LIBERA
- RESISTENZA MECCANICA CONTROLLATA

La pozzolana



Le pozzolane naturali sono sabbie di composizione argillosa modificate dalle eruzioni vulcaniche in strati geologici profondi. La più conosciuta è quella di Pozzuoli.

Le pozzolane artificiali sono essenzialmente delle argille che hanno subito un processo termico la più conosciuta il cocciopesto (laterizi macinati)

Componenti principali
silice allumina ferro



Il “cocciopesto” (TESTA TUNSAM)



IL BAGNO DI KERKOUANE (CITTÀ PUNICA DELLA TUNISIA - CAPO BON)



Il bagno di Kerkouane (Distretto di Cartagine), IV sec. a.C. è composto da un calcestruzzo composto da calce e cocciopesto.

Normativa Europea UNI EN 459-1:2010 CALCI DA COSTRUZIONE

CALCE AEREA

- Calce Calcica (CL) calce grassa
- Calce dolomitica (DL) calce magra contenente magnesio
- Calce Viva (Q)
- Calce idrata (S polvere – S PL grassello – S ML latte di calce liquido)

CALCI CON PROPRIETÀ IDRAULICHE:

Nella normativa aggiornata EN 459-1 : 2010 le calce idrauliche si dividono in tre categorie:

Calce idraulica naturale (NHL)

La calce idraulica naturale è una calce con proprietà idrauliche prodotta dalla cottura di calcari più o meno argillosi o silicei (**compreso il gesso**) con successiva riduzione in polvere mediante spegnimento con o senza macinazione. Ha la proprietà di far presa e indurire quando miscelata con acqua e per reazione con l'anidride carbonica presente nell'aria (carbonatazione).

Tipo di calce NHL	Sali (solfati SO ₃)	Calce libera	Resistenza a compressione MPa	
			7 giorni	28 giorni
NHL 2	≤ 2%	≥35 %	-	≥ 2 a ≤ 7
NHL 3.5	≤ 2%	≥25 %	-	≥ 3.5 a ≤ 10
NHL 5	≤ 2%	≥15 %	≥ 2	≥ 5 a ≤ 15

Calce idraulica (HL)

La calce idraulica è un legante costituito prevalentemente da calce e altri materiali come cemento, loppa d'altoforno, ceneri volanti, filler calcareo e altri materiali idonei. Ha la proprietà di fare presa e indurire sott'acqua. L'anidride carbonica atmosferica contribuisce al processo di indurimento.

Calce formulata (FL)

La calce formulata è una calce con proprietà idrauliche costituita prevalentemente da calce aerea (CL) e/o calce idraulica naturale (NHL) con aggiunta di materiale idraulico e/o pozzolanico. Ha la proprietà di far presa e indurire quando miscelata con acqua e per reazione con l'anidride carbonica presente nell'aria (carbonatazione). La presenza di clinker e/o cemento nella calce formulata deve essere dichiarata dal produttore.

CALCE POZZOLANICA SECONDO LA NORMATIVA È COSÌ DEFINITA:

EN 459-1 FL C 5

CL55, P30, Q15

Il che significa:

FL → calce miscelata a freddo;

C → calce libera (zero a 28 gg);

5 → resistenza alla compressione $\geq$ da 5 a $\leq$ 15 MPa a 28gg;

CL55 → 55% calce aerea;

P30 → 30% pozzolane naturali;

Q15 → 15% pozzolane calcinate naturali.

Ed essendo assenti, non appaiono i valori:

K cemento Portland;

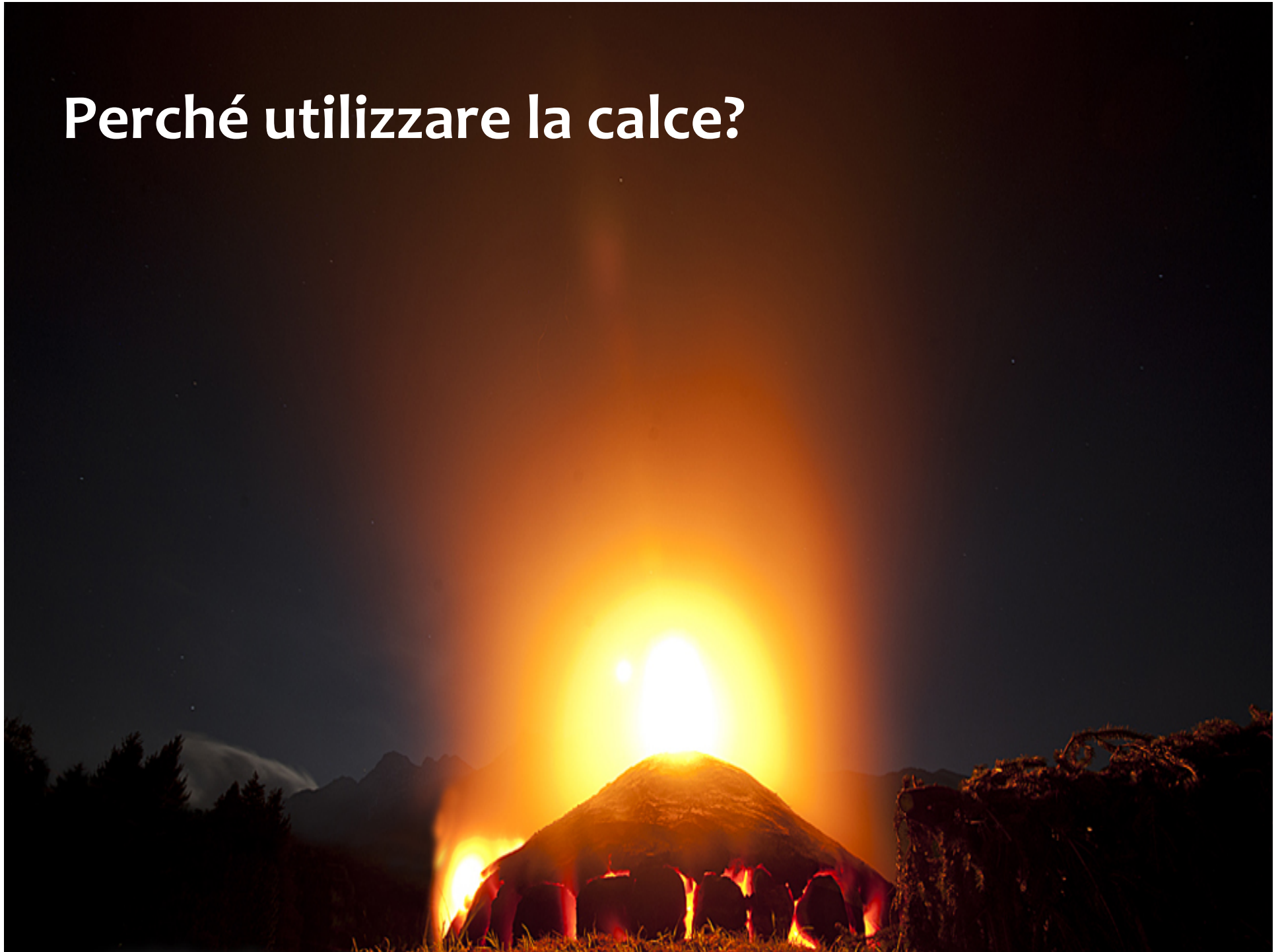
S loppa d'altoforno granulata;

G solfato di calcio (sali);

D fumi di silice.

Indipendentemente dalla quantità, la presenza di cemento e/o clinker di cemento Portland nella calce formulata (FL) deve essere dichiarata dal produttore mediante la dicitura “contiene cemento” sulla confezione.

Perché utilizzare la calce?



La Charta del Restauro

Roma 1883

Art. 1: “I monumenti architettonici, quando sia dimostrata incontrastabilmente la necessità di porvi mano, devono piuttosto venire consolidati che riparati, piuttosto riparati che restaurati, evitando in essi con ogni studio le aggiunte e le rinnovazioni”.

Pur agendo in piena aderenza con la tradizione del costruire e la Regola dell'Arte, che ad essa si accompagna, **la Charta impone che le materie da usarsi nei cantieri di restauro debbano essere affini e compatibili con le strutture originarie sottoposte all'opera di conservazione.**

Se il progetto di recupero è quindi indirizzato al recupero delle strutture, che soffrono dall'oltraggio del tempo, è logico pensare che i materiali da usarsi, per la loro difesa e riqualificazione, debbano disporre di qualità che consentano di riconsegnare al nostro Patrimonio architettonico, quegli elementi che dispongono di caratteri di resistenza e longevità atti a garantire la fruizione del Bene per un lungo futuro, senza creare danni collaterali.

Compatibile, quindi, in quanto, pur essendo affine, non crea danni collaterali.

Il termine affine non significa esattamente simile, quindi a nessuno è chiesto di riproporre lo stesso materiale composto con gli stessi ingredienti usati nel passato. Affine significa “caratterizzato dalle stesse qualità” e pertanto idoneo a prendere il posto di ciò che l'ha preceduto.

Esempio - 1: La calce aerea è sicuramente affine al simile materiale che componeva gli intonaci originari; non può dirsi però compatibile in quanto la calce aerea non è idonea a ripristinare un intonaco di calce aerea distrutto dall'umidità di risalita, introducendo una materia che produrrà danni al restauro stesso.

Esempio – 2: Un legante idraulico pozzolanico non può essere sostituito con del cemento Portland.

Il legante è affine in quanto è un CSH, ma assolutamente incompatibile in quanto portatore di sali, poco poroso e contenete ossido di calcio libero, sinterizzato. Cosa da allontanare assolutamente.

FORMULAZIONE AD-HOC

**MATERIALI ESPRESSAMENTE
STUDIATI E COMPOSTI con
caratteristiche chimico-fisiche
e cromatiche simili alle malte
originarie PER I CANTIERI CUI
SONO DESTINATI**



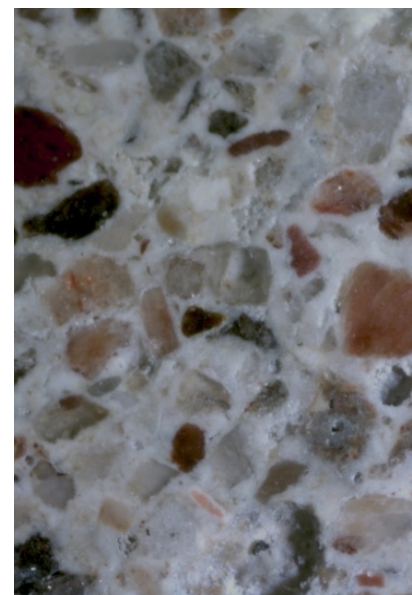
TORRE TROMBA – TRENTO



PRELIEVO



INDAGINI DI LABORATORIO



FORMULAZIONE



CAMPIONATURE

TUTELA PER LA SALUTE E L'AMBIENTE:

BENESSERE ABITATIVO:

- INORGANICI
- ANTIBATTERICI
- TRASPIRANTI
- IGROSCOPICI



CONTENUTO DI RICICLATO:

Riciclabili e formulati con materie prime seconde

Riduzione del consumo di materie ricavate dal suolo e l'emissione di CO₂ nell'aria

➔ INORGANICI

Perché composti esclusivamente da materie minerali o mineralizzate quindi esenti da VOC (sostanze organiche volatili) e sostanze organiche che potrebbero favorire la formazione di muffe e batteri.

➔ ANTIBATTERICI

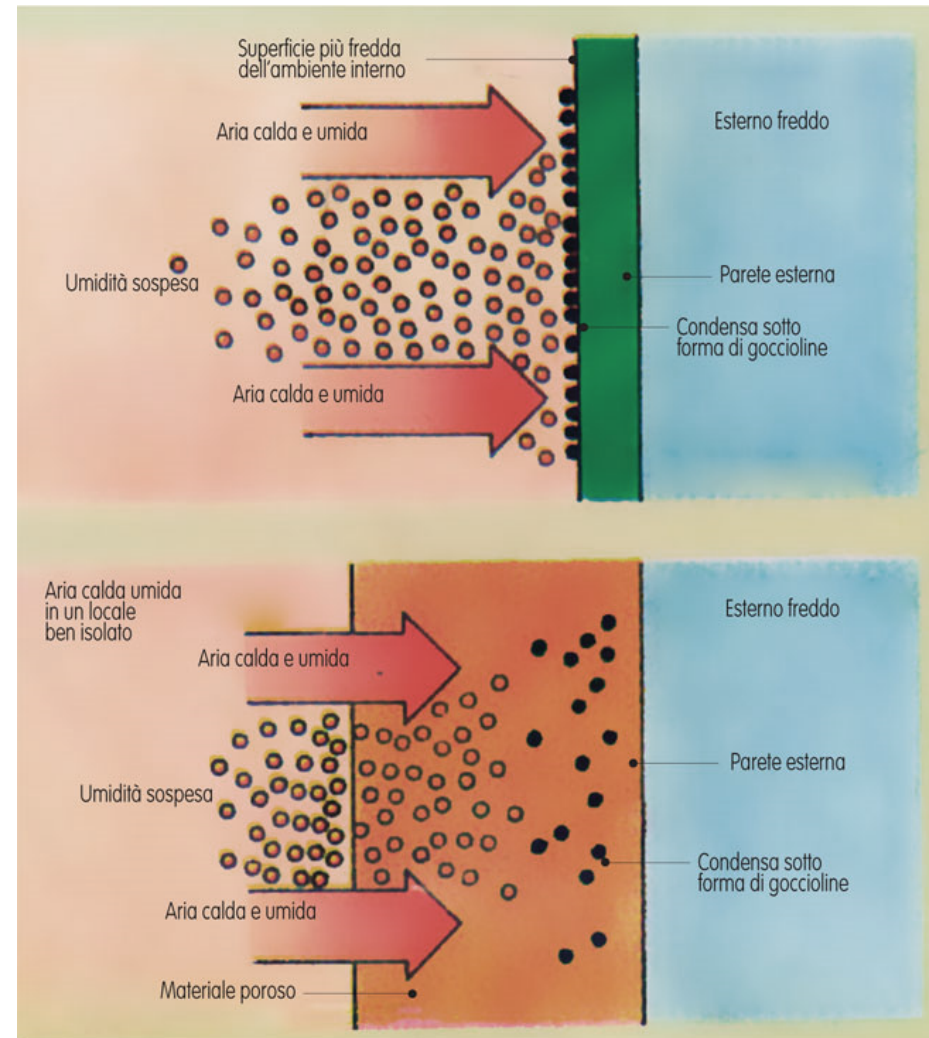
Per l'utilizzo della calce come legante la quale presenta un'alcalinità elevata (pH 13).

TRASPIRABILITÀ

*La capacità di un materiale di essere attraversato dal vapore acqueo,
dato correlato alla porosità del materiale*

Tanto più un materiale è traspirante,
tanto più bassa è la possibilità che si
crei condensa sulla sua superficie
del materiale perché favorisce la
migrazione del vapore acqueo verso
l'esterno dell'abitazione.

Il valore che la definisce è il μ



Oggi la riqualificazione energetica degli edifici ci “costringe” a coibentare con soluzioni molto performanti e spesso troppo economiche, mediante la formazione di “cappotti” esterni o interni e la sostituzione degli infissi.



QUESTO NELLA GRANDE MAGGIORANZA DEI CASI
INFLUISCE NEGATIVAMENTE SULLA TRASPIRABILITÀ
DELLE MURATURE E QUINDI SUL DEFLUSSO DEL VAPORE
ACQUEO VERSO L'ESTERNO DELL'ABITAZIONE CREANDO
CONDENSAZIONE E SUCCESSIVAMENTE LA FORMAZIONE
DI MUFFE E BATTERI.



IGROSCOPICITÀ

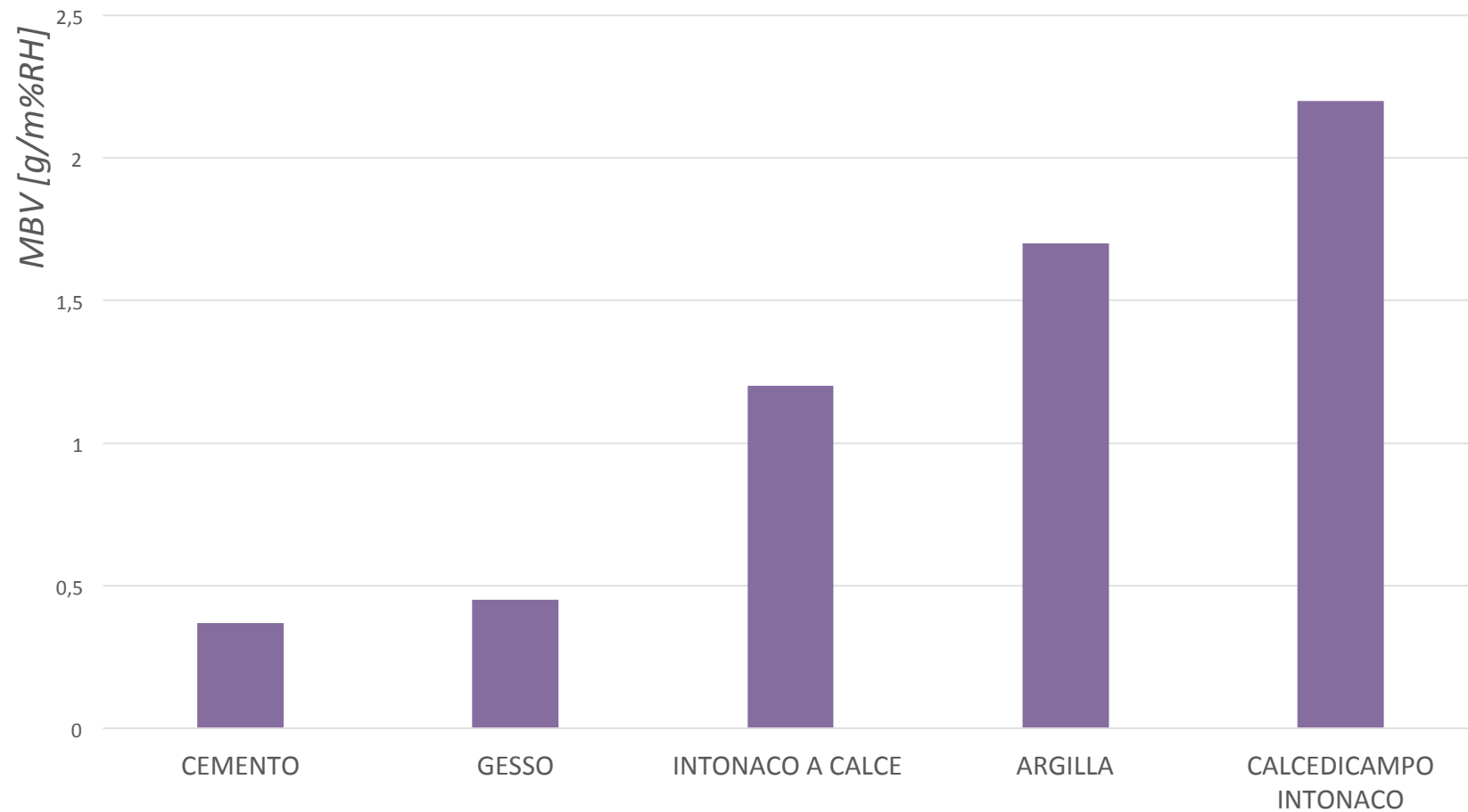
La capacità di un materiale di assorbire prontamente le molecole d'acqua presenti nell'ambiente

Il fattore che permette di
regolare il micro clima
interno



Questa caratteristica è stata valutata e confermata con la misura del **Moisture Buffering Value (MBV)**, ovvero il parametro che indica la quantità di acqua che viene trasportata dentro e fuori il materiale, durante un certo periodo di tempo, quando è soggetto a variazioni di umidità relativa.

Comportamento Igroscopico



Fonte: Brenton K. Kreiger, Wil V. Srubar III, Moisture buffering in buildings: A review of experimental and numerical methods, Energy & Buildings 202

A top-down view of various organic materials arranged in a circular pattern. The materials include whole grains (likely barley or malt), a fine white powder, a light beige powder, a dark brown powder, a reddish-brown powder, and a dark, fibrous material. The arrangement suggests a cycle of processing or a variety of raw materials.

MATERIA “CIRCOLARE”

CONTENUTO DI RICICLATO

UTILIZZO DI MATERIE PRIME SECONDE

Polvere di marmo:	Polvere ottenuta dalla lavorazione di marmi carbonatici	PRE CONSUMATORE	
Sabbia di porfido:	Aggregato di scarto ottenuto dalla produzione di elementi in porfido: sampietrini, blocchi, pavimentazioni ecc.	PRE CONSUMATORE	
Granuli di vetro espanso:	Ottenuti dalla lavorazione di vetro usato e riciclato dopo l'uso da parte del consumatore	POST CONSUMATORE	
Cocciopesto:	Derivante dalla macinazione e dalla vagliatura calibrata di laterizi (coppi, tegole, ecc.) selezionati per colore e cotti a temperature comprese fra i 850 e i 900°C	PRE CONSUMATORE	

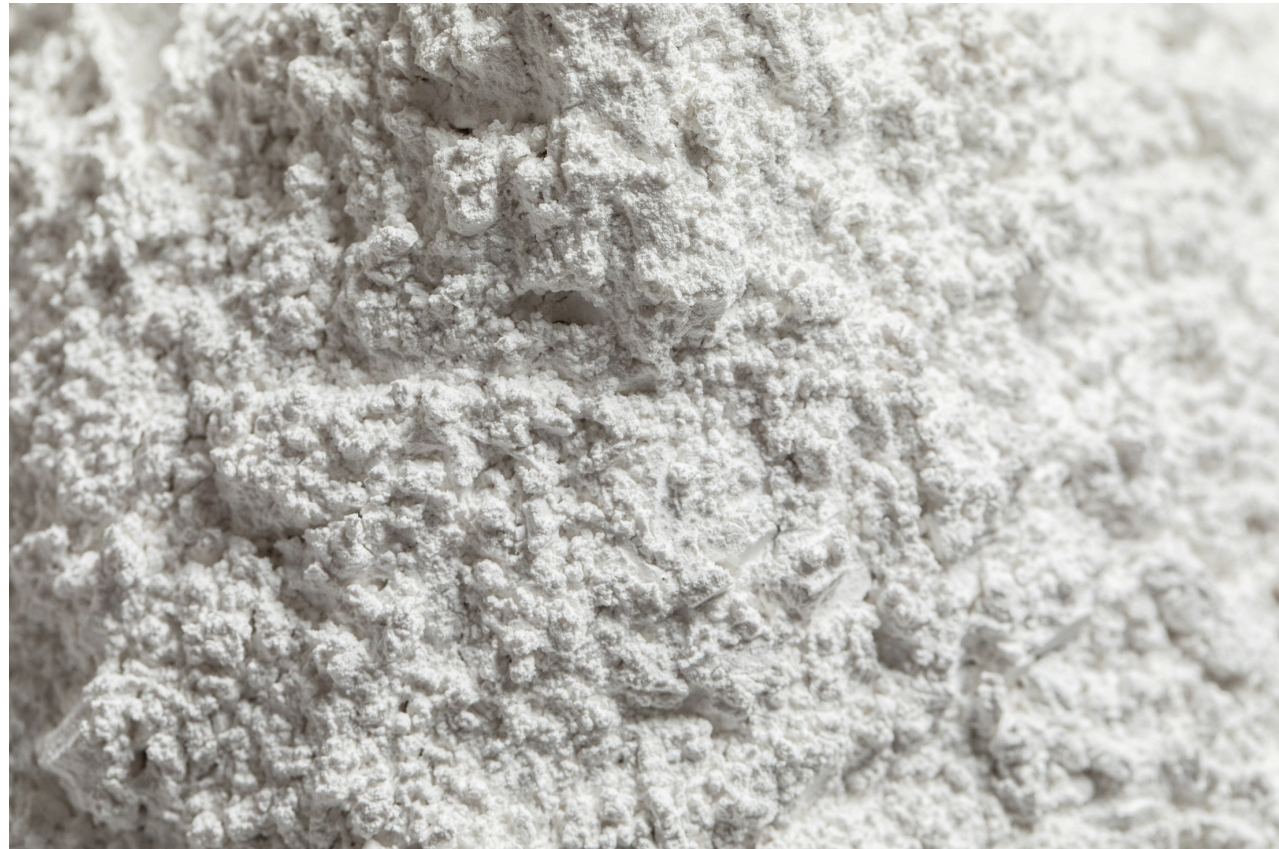


I gusci delle uova sono caratterizzati da un alto contenuto di carbonato di calcio sostituiscono la pietra di cava per produzione della calce e la sabbia aggregata.

Solo in Italia si producono ogni anno circa un milione di tonnellate di uova (*fonte ISMEA*) di cui circa 100.000 ton sono gusci di scarto.



I gusci d'uova
vengono ridotti in
sabbia.



La sabbia di gusci d'uova calcinata a bassa temperatura (720 °C) cade in finissimo ossido di calcio (CaO), pronto per essere idratato ed ottenere la calce spenta naturale e purissima $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$.

...ecco l'altro scarto alimentare...

Pianta del riso. Fonte rinnovabile per eccellenza.



Ogni 5 ton di riso si ottiene una tonnellata di lolla di riso (buccia di scarto). Il rendimento in cenere è di circa il 20%.

L'Italia è il maggior produttore di riso Europeo con circa 13 milioni di quintali l'anno (*fonte FAO*).



LOLLA DI RISO

assicura leggerezza e porosità.

Cenere della Lolla di riso

derivata da centrali a Biomassa, principalmente composta di silice solubile e allumina sostituisce le antiche ceneri vulcaniche e le pozzolane utilizzate nel periodo Fenicio e Romano



MATERIA PRIMA	STORICA	RICICLATA
CALCE AEREA SPENTA	- PIETRE CARBONATICHE DI CAVA e DI FIUME	GUSCI D'UOVA
AGGREGATI REATTIVI	- COCCIOPESTO - CENERI VULCANICHE - POZZOLANE	- COCCIOPESTO - CENERI DA LOLLA DI RISO
INERTI	- SABBIA DI FIUME O DI CAVA	- GUSCI DI UOVA RIDOTTI IN SABBIA - LOLLA DI RISO - CANAPULO - VETRO RICICLATO

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



Ogni tonnellata di cemento prodotta rilascia in atmosfera una tonnellata di CO₂





Grazie dell'attenzione!

Gianni Nerobutto

