

Dip. di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale

Università Federico II di Napoli

Corso di Laurea in Ingegneria Edile (A.A. 2024-25)

Corso di “Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata”

(Prof. Fabio Iucolano)

Calce aerea



Calce aerea: le antiche «calchere»

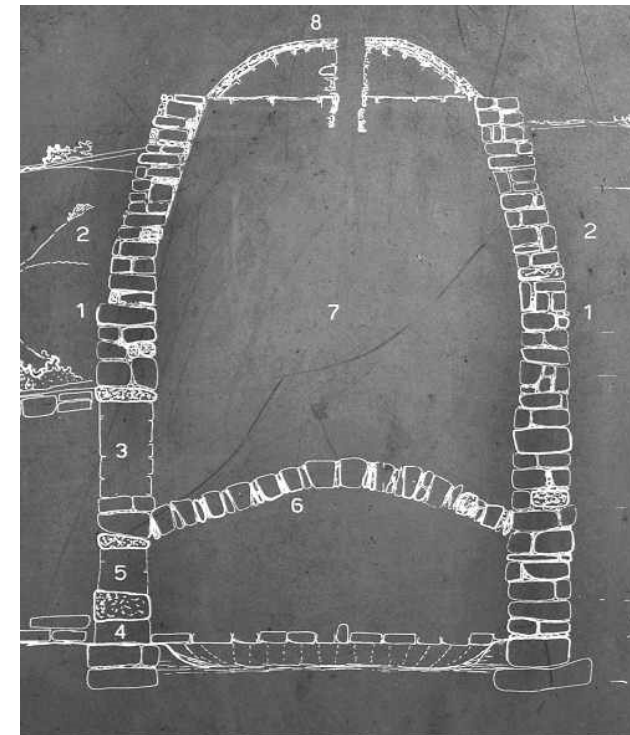
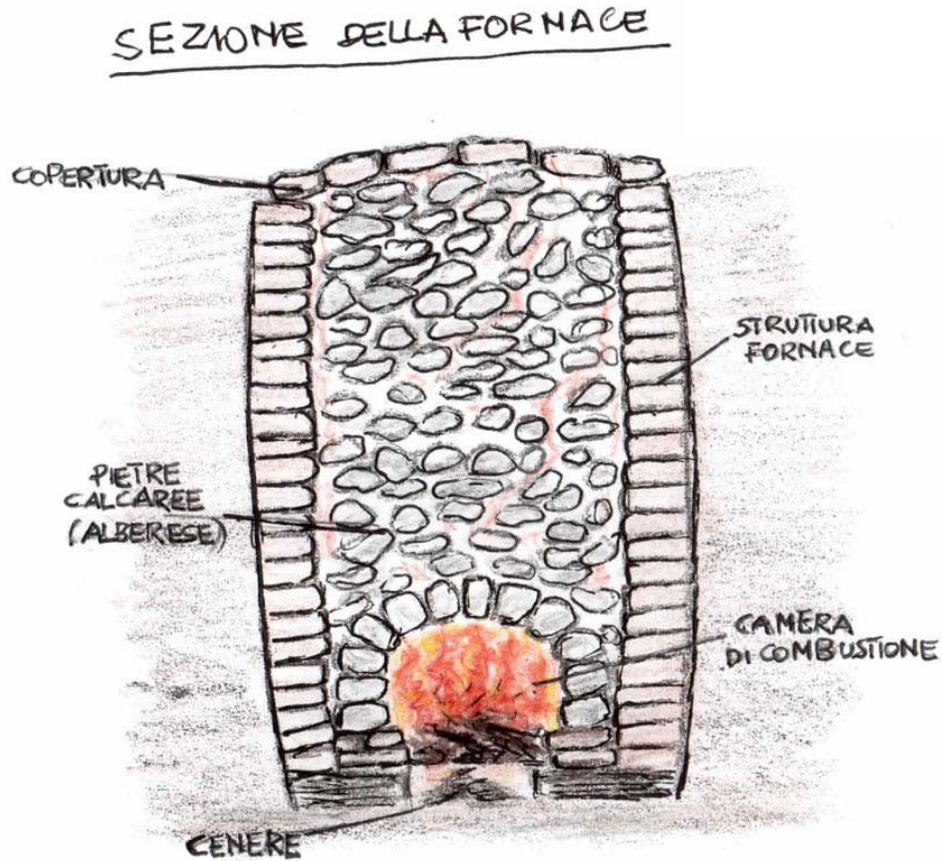
Il primo trattato sulla costruzione delle fornaci per la calce si trova nel libro “*De agricultura*” di Marcus Porcius Cato, nato a Tuscolo nel 234 a.C., morto a Roma nel 149 a.C. e conosciuto come “Catone il Censore”. Un intero capitolo è dedicato alla descrizione dei forni per la calce (chiamati perciò «**forni Catoniani**»)

La **calchera** era una fornace ricavata nel sottosuolo formata da sassi squadrati resistenti al calore, che serviva alla produzione di calce. La diffusione delle calchere era concentrata principalmente nella catena prealpina, dove sono abbondanti gli **affioramenti di calcare o dolomia**.

Le calchere avevano forma “a botte” con dimensioni comprese tra i 3-5 m di diametro e i 2-4 m di altezza. Per garantire il funzionamento erano necessarie due aperture: una nella parte sommitale, mentre l'altra, assimilabile a un piccola porta d'ingresso (1m x 2m), serviva per introdurre il calcare ed estrarre la calce al termine della cottura.



Calce aerea: le antiche «calchere»



LEGENDA - ZEICHENERKLÄRUNG

- | | |
|--|--|
| 1 PARETI DELLA CALCARA WÄNDE DES KALKOFENS | 5 BOCCA DI ALIMENTAZIONE VERSÖRGUNGSÖFFNUNG |
| 2 TERRAPIENO DAMM | 6 VOLTA DI SEPARAZIONE TRENNAUER |
| 3 INGRESSO ÖFFNUNG | 7 CARICO DI ROCCIA CALCAREA LADUNG KALKGEST. EIN |
| 4 FORO DI ASPIRAZIONE E ASPORTAZIONE DELLA CENERE LUFTLÖCHER UND ABTRANSPORT DER ASCHEN | 8 COPPELLA DI RICOPERTURA E SFIATO DECKHAUBE UND LUFTABZUG |



Calce aerea: le antiche «calchere»



Ingresso della calchera, costruita su un pendio



Foro che serve da sfogo, sulla
volta della calchera



Calce aerea: materie prime

Le **rocce calcaree** sono molto diffuse in natura e sono formate principalmente da **carbonato di calcio**, CaCO_3



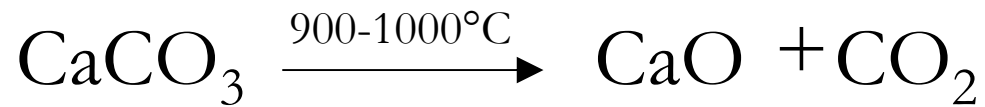
Principali impurezze presenti:

- dolomite ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)
- caolinite (famiglia delle argille)
- ossidi di ferro
- silice
- feldspati



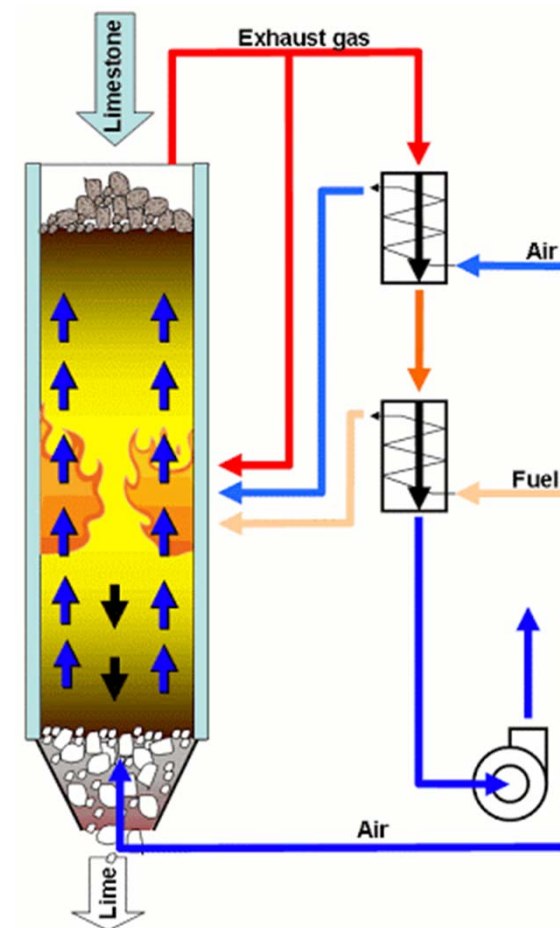
Calce aerea: cottura

La calce aerea è ottenuta attraverso cottura di rocce calcaree.



Ossido di calcio
o
Calce viva in zolle

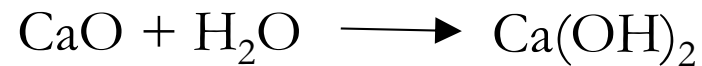
La cottura avviene generalmente in
forni verticali (**forni a tino**) $d= 3-5 \text{ m}$;
 $h= 15-25 \text{ m}$.





Spegnimento calce viva

➤ La **calce viva** deve essere trattata con acqua per dare **calce spenta** (idrossido di calcio):



Idrossido di calcio
o
calce spenta



La reazione della calce viva con acqua è fortemente esotermica ($\Delta H \ll 0$), avviene con notevole aumento di volume ($\Delta V > 0$) e genera una soluzione fortemente alcalina (**alta concentrazione di OH^-**)

Per tali motivi, al fine di evitare incidenti sul lavoro, lo spegnimento viene effettuato in stabilimento e non più in cantiere.



Spegnimento calce viva

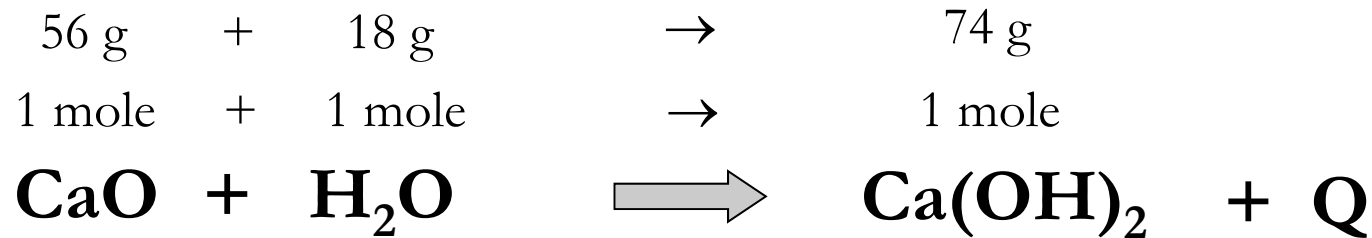


Vedi video n.13 da sito docente (contenuti multimediali)
<https://www.youtube.com/watch?v=r5EK1ji88JA>



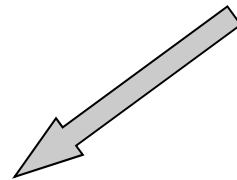
Spegnimento calce viva

Spegnimento con acqua stechiometrica



Calce viva

**Calce idrata
in polvere**



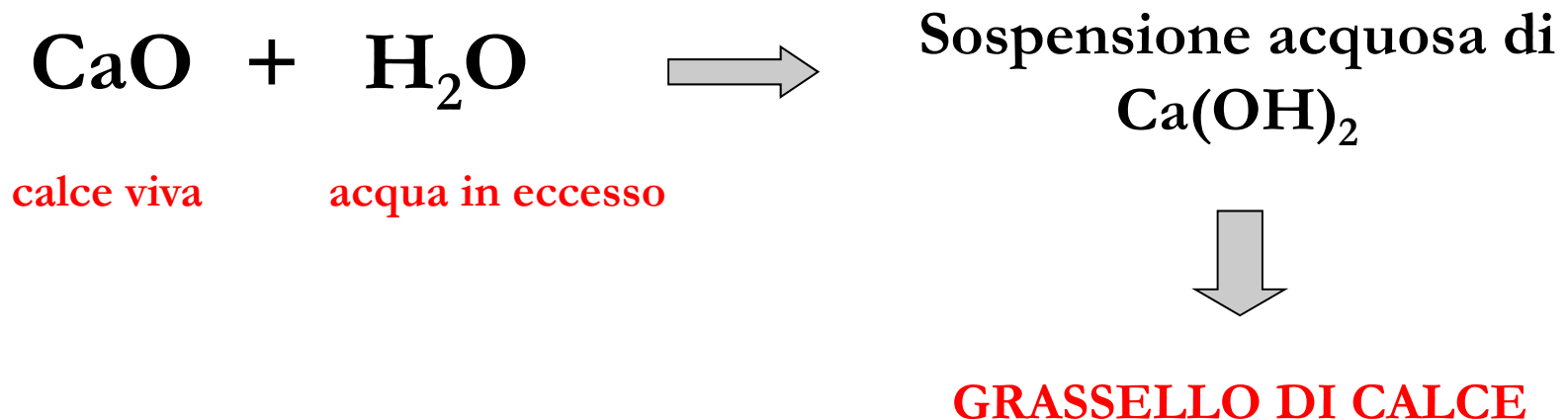
Fiore di calce
[$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2 > 91 \%$]

Calce idrata da costruzione
[$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2 \text{ almeno } 82 \%$]



Spegnimento calce viva

*Spegnimento con acqua in eccesso
(almeno il doppio di quella stechiometrica)*



Col passare del tempo (**stagionatura**) i cristalli di Ca(OH)_2 diventano sempre più piccoli, e ciò rende il grassello sempre più plastico.



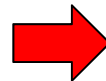
Grassello di calce



Lo spegnimento con eccesso d'acqua si effettua in delle grosse vasche.

Quando il grassello comincia a **fessurarsi in superficie** allora lo si mette in sacchetti chiusi e ben sigillati, e lo si lascia **stagionare per diversi mesi**.

Un grassello puro e ben stagionato ha l'aspetto di una pasta bianca, lattiginosa, **untuosa al tatto**.





Grassello di calce

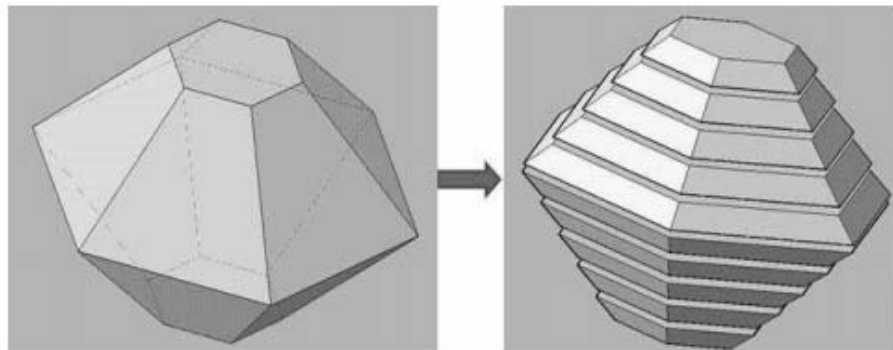
- *l'effetto della stagionatura* -

Già Vitruvio, nel suo «*de Architectura*» (≈ 15 a.c.), prescriveva che il grassello venisse **stagionato da 3 a 5 anni**, al fine di ottenere un prodotto più pregiato.

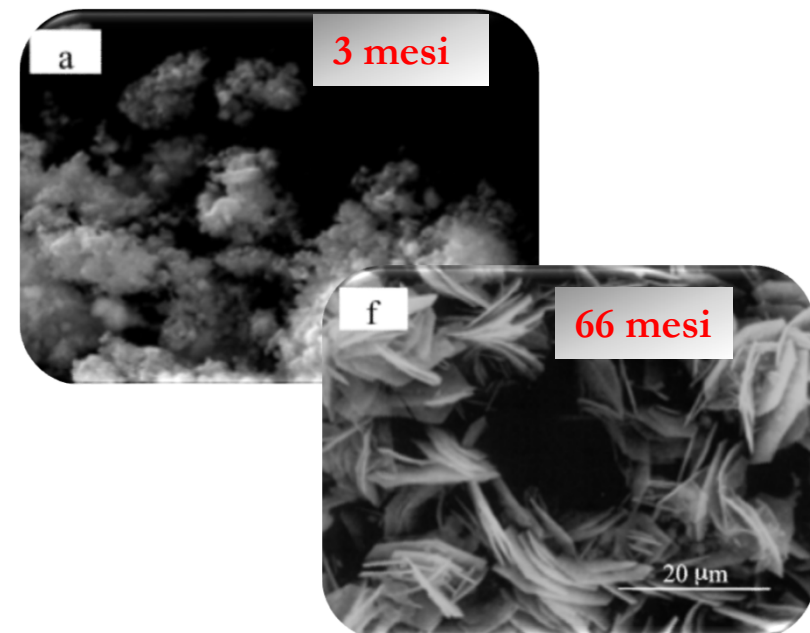


Effettivamente durante la stagionatura accade che i cristalli di $\text{Ca}(\text{OH})_2$, inizialmente di forma prismatica o sferoidale, **si trasformano** via via **in cristalli più piccoli, di forma lamellare**.

Tale **morfologia** del cristallo conferisce una **migliore plasticità** all'impasto legante, e dunque un maggior pregio!

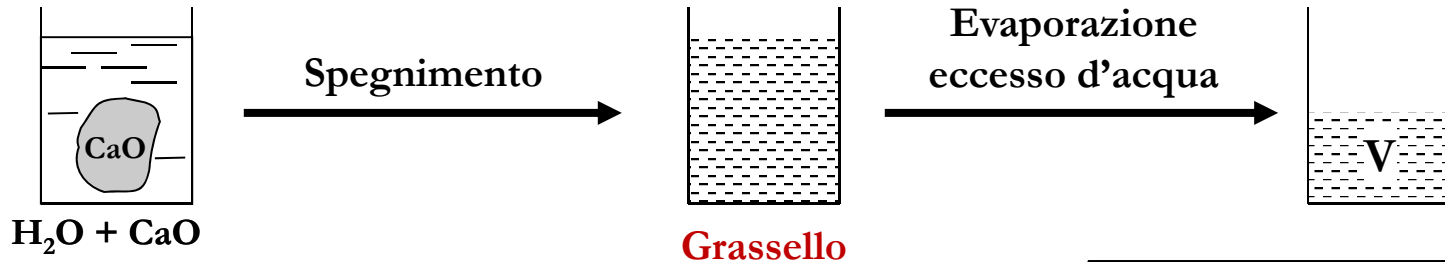


Schema del meccanismo di formazione di piccoli cristalli lamellari a partire da un cristallo singolo prismatico.





Resa in grassello (RG)



W = massa di CaO

$$RG = \frac{V}{W} \quad [\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}]$$

V = volume del grassello quando sulla sua superficie compaiono le **prime fessurazioni**.

1,5 < RG < 2,5 calce magra

RG ≥ 2,5 calce grassa



Grasselli più pregiati

- più plastici
- si mescolano meglio con la sabbia
- migliore azione legante



Fattori che influenzano la RG

$$RG = \frac{V}{W} \quad [\text{m}^3 \text{ton}^{-1}]$$

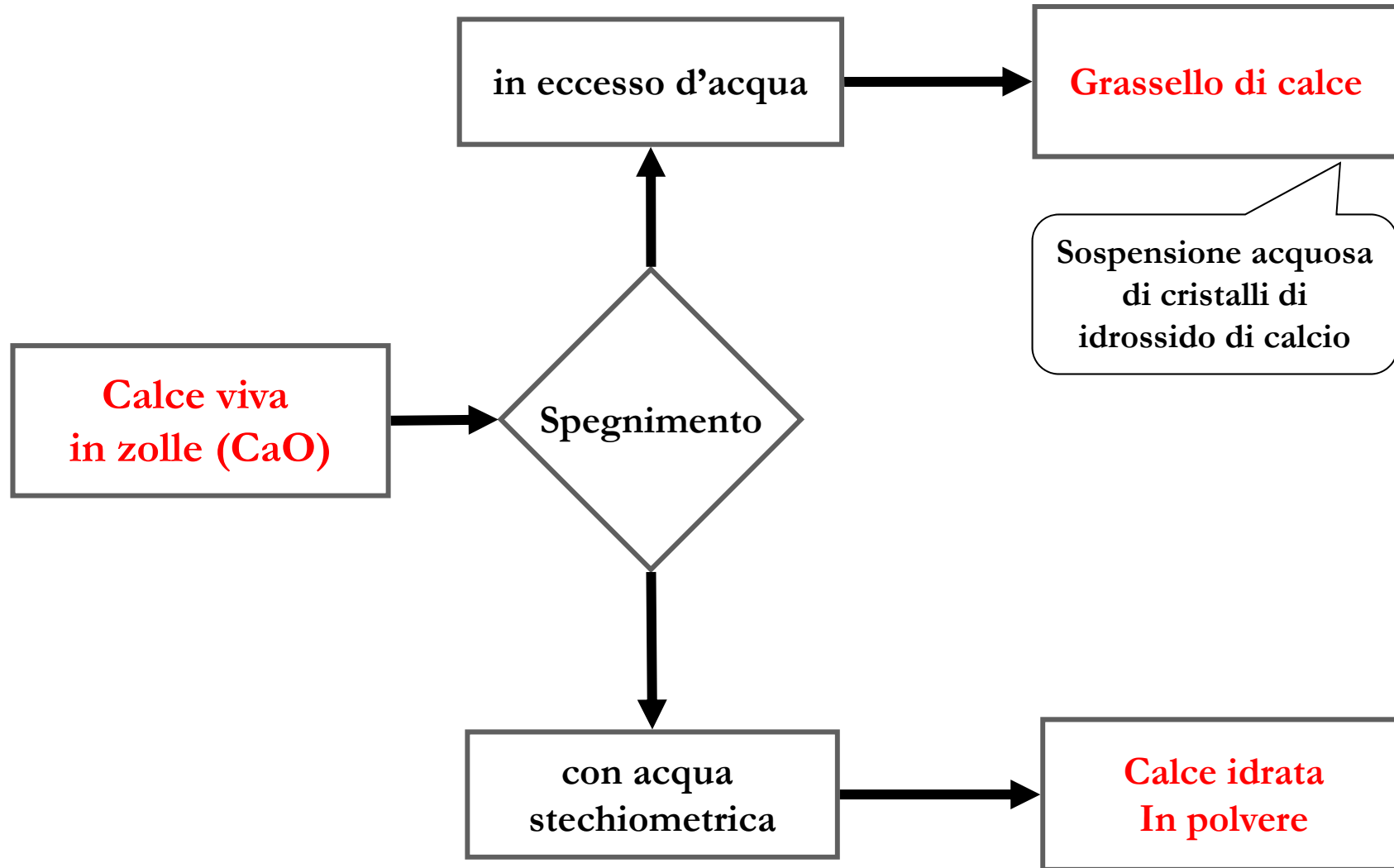
La resa in grassello dipende dalla **qualità del calcare** e dalla **T di cottura**:

- Se il calcare di partenza presenta notevoli impurezze, **RG si riduce**.
- Se la **T cottura è troppo bassa**, resta del CaCO_3 non decomposto, che quindi non prende parte all'idratazione **➡ RG si riduce**.
- Se la **T di cottura è troppo elevata** si ottiene la «calce cotta a morte», che presenta grani di calce viva grossolani e poco porosi, che si idratano molto lentamente **➡ RG si riduce**.



Calce aerea

- riepilogo sullo spegnimento -

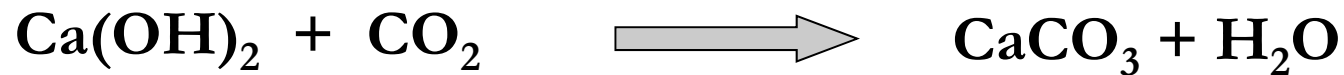




Posa in opera della calce aerea

MALTA DI CALCE {
CALCE IN POLVERE + ACQUA + SABBIA
GRASSELLO + ACQUA + SABBIA

1. **Presa** → Evaporazione acqua in eccesso (mecc. di natura fisica)
2. **Indurimento** → Carbonatazione (mecc. di natura chimica)

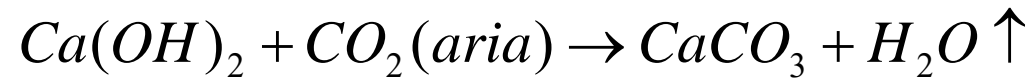


presente nell'aria



Meccanismo di indurimento

CARBONATAZIONE



- La calce è un legante aereo perché ha bisogno dell'anidride carbonica dell'aria per indurire.
- In assenza di CO_2 la calce non indurisce affatto.
- Tale reazione avviene con $\Delta V < 0$ (**ritiro igrometrico**).
- Tale reazione è piuttosto lenta (possono volerci mesi per una completa carbonatazione)



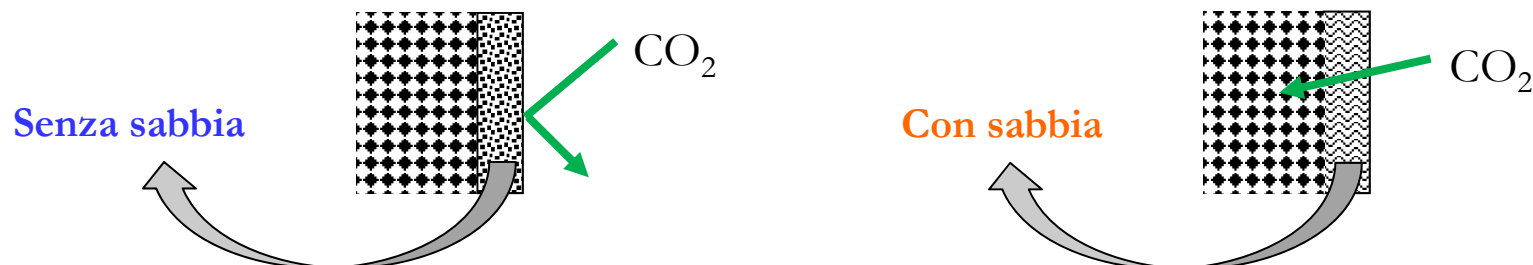
N.B. La reazione, così come schematizzata, sembra avvenire tra un solido ed un gas. Nella realtà la carbonatazione è l'effetto complessivo di una serie di fenomeni chimico-fisici più complessi, che **avvengono in soluzione acquosa**.



Il ruolo della sabbia nelle malte di calce

La presa e l'indurimento di una malta di calce aerea avvengono con una significativa contrazione di volume (**ritiro igrometrico**).

- ✓ La calce, perciò, deve essere messa in opera **sotto forma di malta** (legante + acqua + sabbia), altrimenti indurirebbe sotto forma di polvere poco coerente.
- ✓ Il prodotto indurito è costituito da uno scheletro di granelli di sabbia saldati tra loro dal legante indurito.
- ✓ La sabbia svolge le funzioni di:
 1. **Contrastare il ritiro** derivante dall'indurimento del legante (**stabilità dimensionale**);
 2. Contribuire alla **resistenza meccanica** del prodotto indurito;
 3. Garantire alla malta una **porosità sufficiente** per consentire l'ingresso dell'aria necessaria alla carbonatazione degli strati più interni della malta.

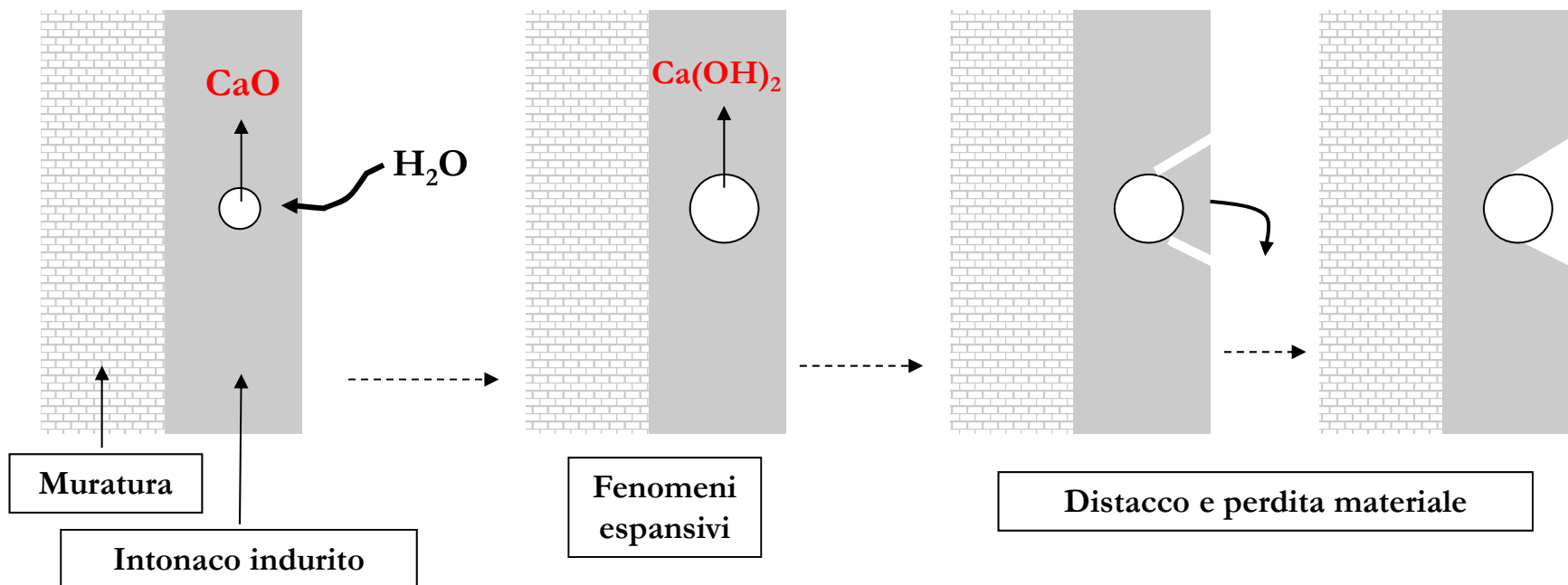




Un fenomeno di degrado della calce

- *I calcinelli* -

- Un eccesso di cottura della calce porta alla formazione di granuli di CaO grossolani e poco reattivi («**calcinelli**» o «**bottaccioli**»), che non si idratano durante il processo di spegnimento ma solo dopo che la calce è stata messa in opera e si è indurita.
- L'aumento di volume conseguente a tale idratazione ritardata genera **tensioni interne** e quindi **perdite di materiale** negli intonaci a calce.





Calce aerea: alcuni impieghi

- **Malte da interno** per intonaci e finiture (solo in quest'ultimo caso, anche sotto forma di paste).
- **Malte da «allettamento»** (collegamento di pietre e mattoni).

Composizione di una malta da muratura

0.25-0.4 m³ di grassello

0.85-1 m³ di sabbia

0.1-0.2 m³ di acqua

- Calce + sabbia + cemento = **malte «bastarde»**, per esterni.
- Calce + polvere di marmo = **«marmorino»**, lavorabile e lucidabile.



Il ciclo della calce

