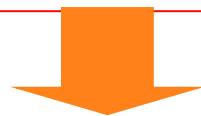


Leganti Idraulici

Cemento Portland

Cemento (UNI EN 197)

“Un materiale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende e indurisce a seguito di reazioni e processi di idratazione e che una volta indurita mantiene la sua resistenza e stabilità anche sott’acqua”



Cemento Portland

Si ottiene per macinazione del prodotto di cottura di una miscela di argilla, calcare e sabbia (clinker) con piccole aggiunte di gesso (circa il 5%) ed eventualmente, di altri materiali (pozzolane, microsilice, ceneri volanti, ecc.)

Clinker di Portland

Si intende il prodotto ottenuto per cottura fina ad incipiente scorificazione di miscele di calcare ed argilla di opportuna composizione:

Calcare = 76 – 78%;

Argilla = 22 – 24%.

Spesso si distingue tra **Portland Naturale** e **Portland Artificiale** a seconda che le materie prime siano prelevate già in miscela come naturalmente avviene o vengano miscelate a partire da sistemi puri di calcare argilla allumina ed ossido ferrico.

Presentano stessa composizione e resistenza meccanica

Clinker di Portland

Durante la cottura delle materie prime si perdono H₂O dell'argilla e CO₂ dal calcare.

Alla fine il Portland sarà prevalentemente costituito da:

CaO = 64-68%; SiO₂ = 20-23%; Al₂O₃ = 3-8%; Fe₂O₃ = 0,5-5% MgO = 0,5-4%.

Dopo la cottura la reazione tra questi composti porta alla formazione:

Silicato Tricalcico 3CaO SiO₂ (Alite)

Silicato Bicalcico 2CaO SiO₂ (Belite)

Alluminato Tricalcico 3CaO Al₂O₃ (Celite)

Fase ferrica 2CaO (Fe,Al)₂ O₃

Produzione del Clinker

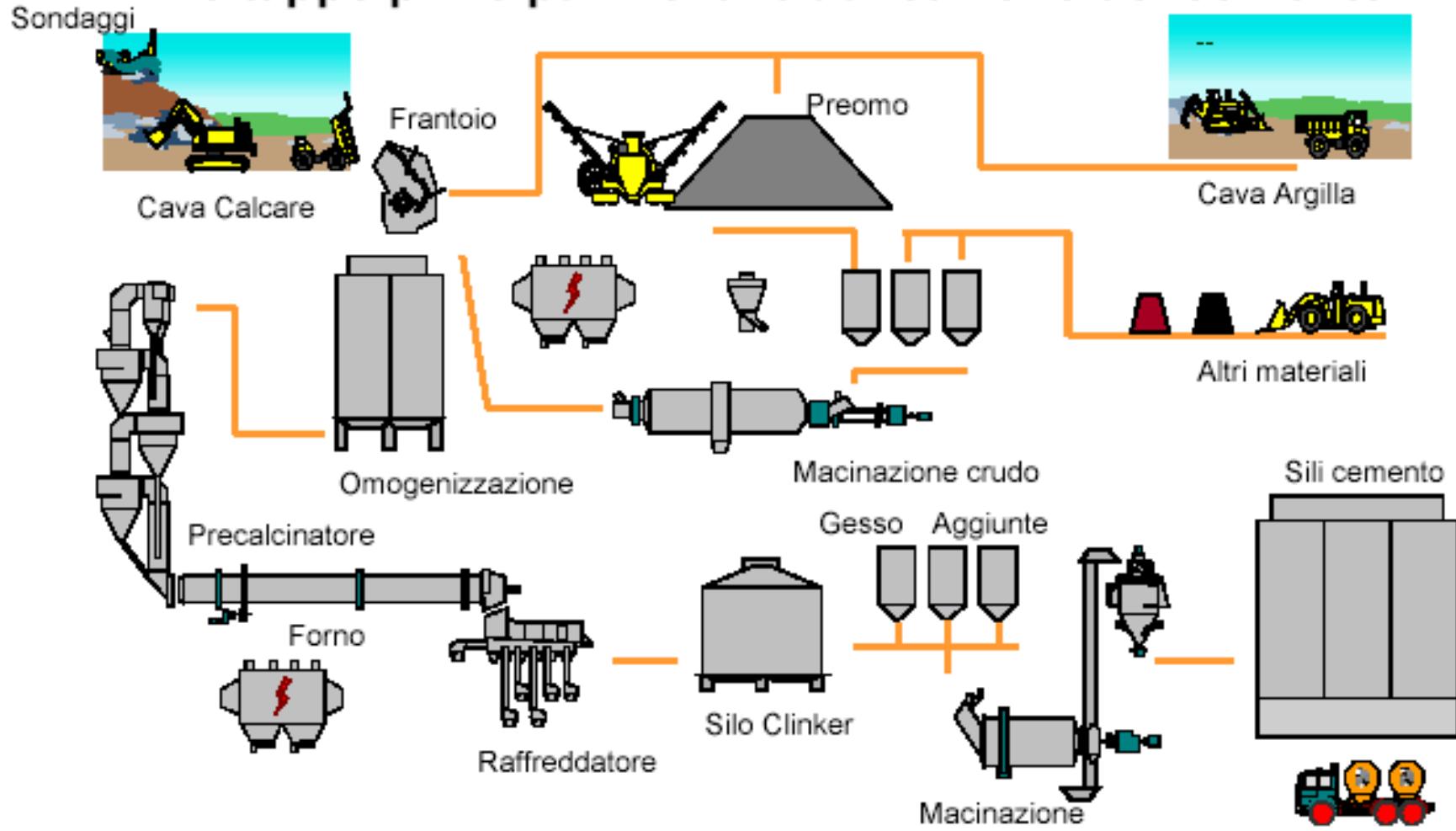
Si ottiene partendo da una miscela di **Calcare (CaCO_3)** ed **Argille**, silicati idrati di alluminio di formula generale **$x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$** e **Ossidi di ferro (Fe_2O_3)** presente nelle argille o aggiunto come ceneri di pirite.

Il processo consiste in:

- ✓ Macinazione e Miscelazione delle materie prime;
- ✓ Cottura delle stesse con ottenimento del Clinker;
- ✓ Macinazione del Clinker
- ✓ Aggiunta di opportune aliquote di gesso (per ottenere il cemento Portland)

Produzione del cemento Portland

Le tappe principali nella fabbricazione del cemento

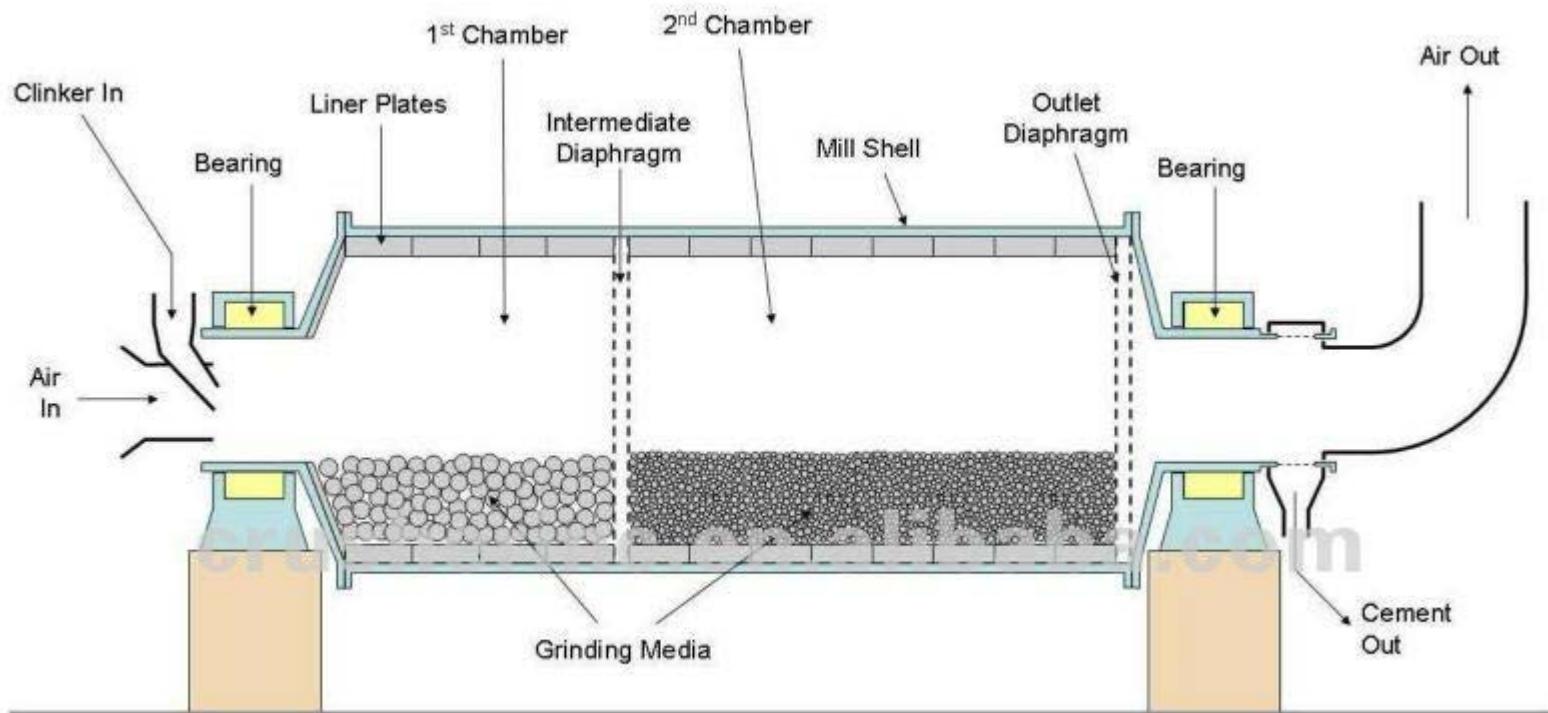


Produzione del Clinker

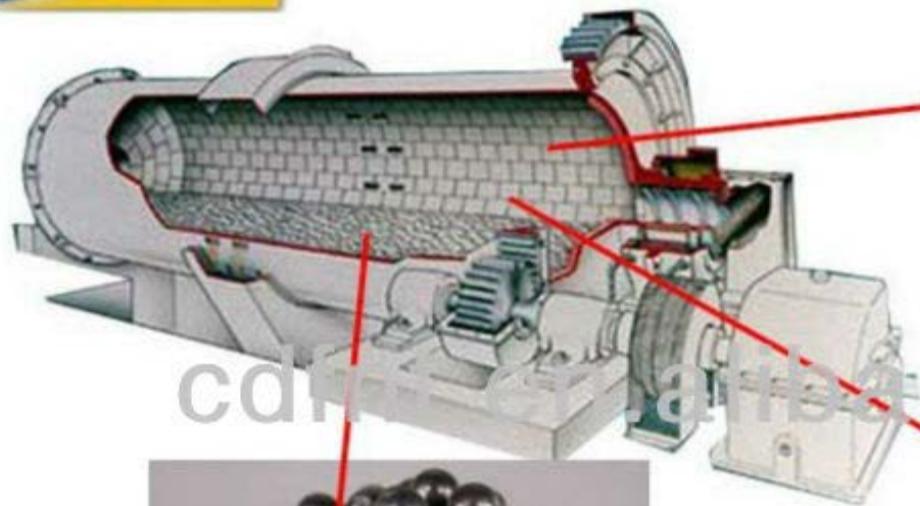
Macinazione

Può essere sia a secco che in umido;

Si fa uso di mulini a palle; grossi cilindri di lamiera di acciaio del diametro di circa 3 metri e lunghezza 12-15 metri:



Produzione del Clinker



Over-flow
liner



Balls



Grate liner



Produzione del Clinker

Omogeneizzazione

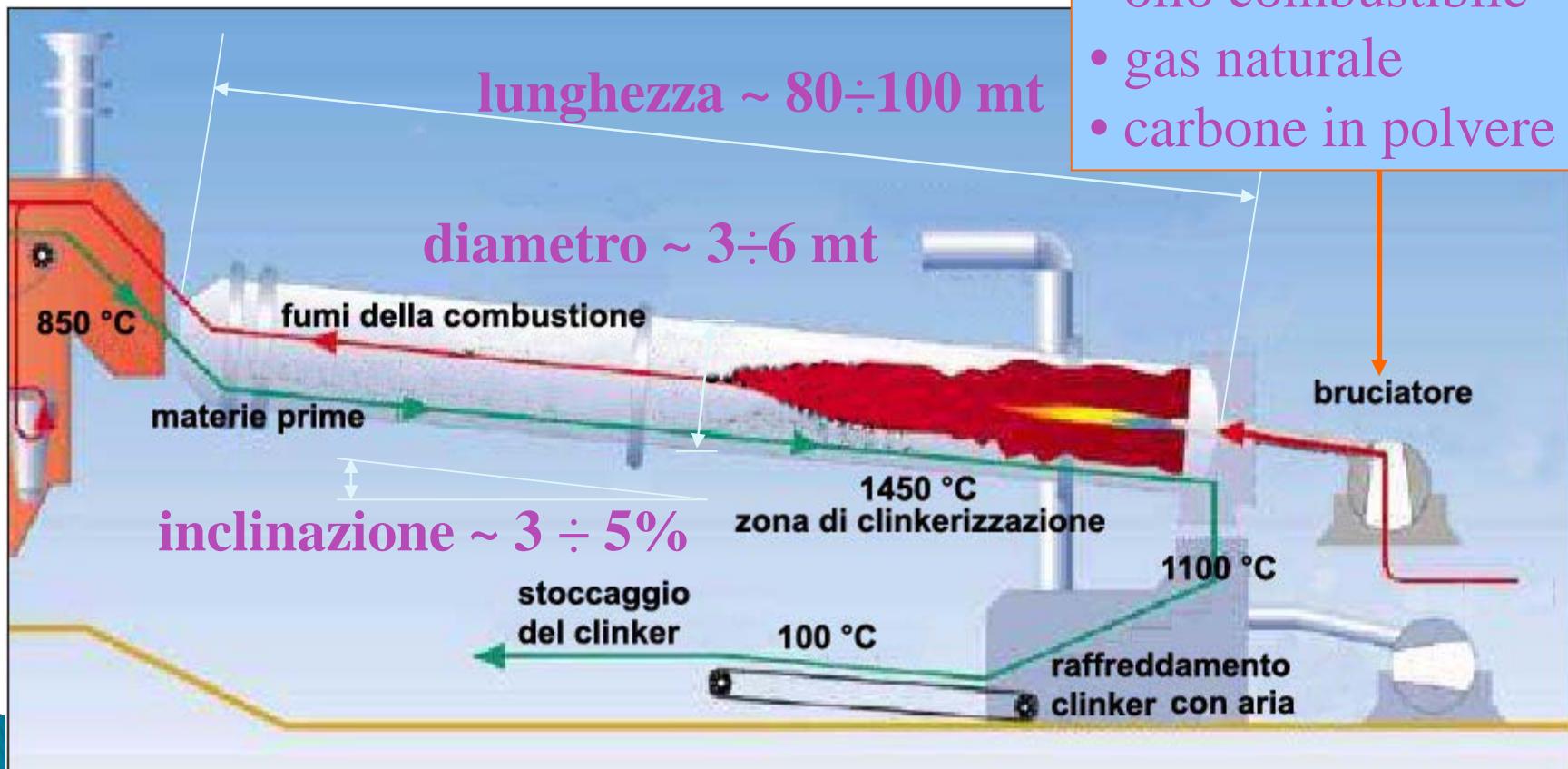
La “farina” ottenuta viene posta in grossi sili il cui fondo è costituito da materiale poroso o di tipo ceramico o metallico;

Viene insufflata aria sotto pressione per omogeneizzare la polvere;

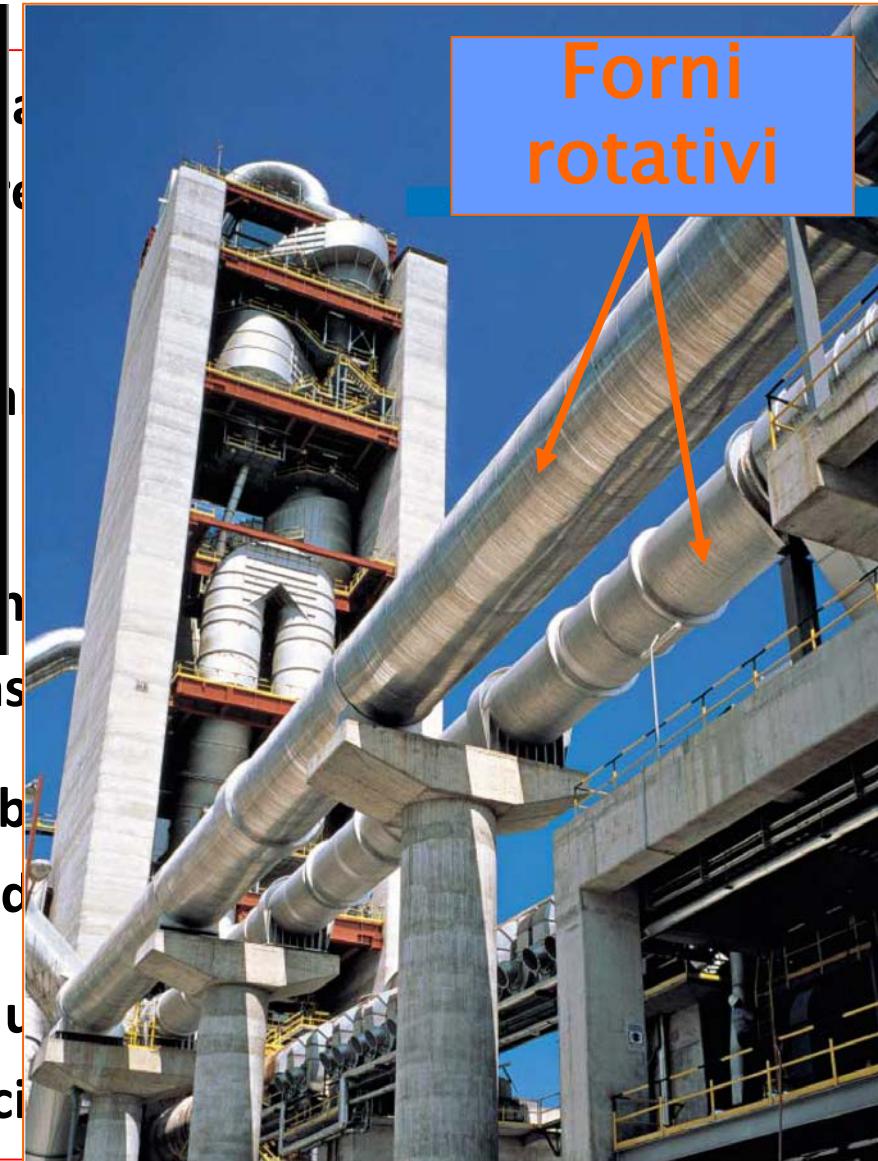


Cottura del Clinker

Forno rotativo di cottura



Cottura del Clinker



Cottura del Clinker

Trasformazioni durante la cottura

$\approx 100^\circ\text{C}$ perdita dell'acqua libera

$\approx 500^\circ\text{C}$ $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ decomposizione del carbonato di magnesio

$x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O} \rightarrow x\text{Al}_2\text{O}_3 + y\text{SiO}_2 + z\text{H}_2\text{O}$ decomposizione argilla

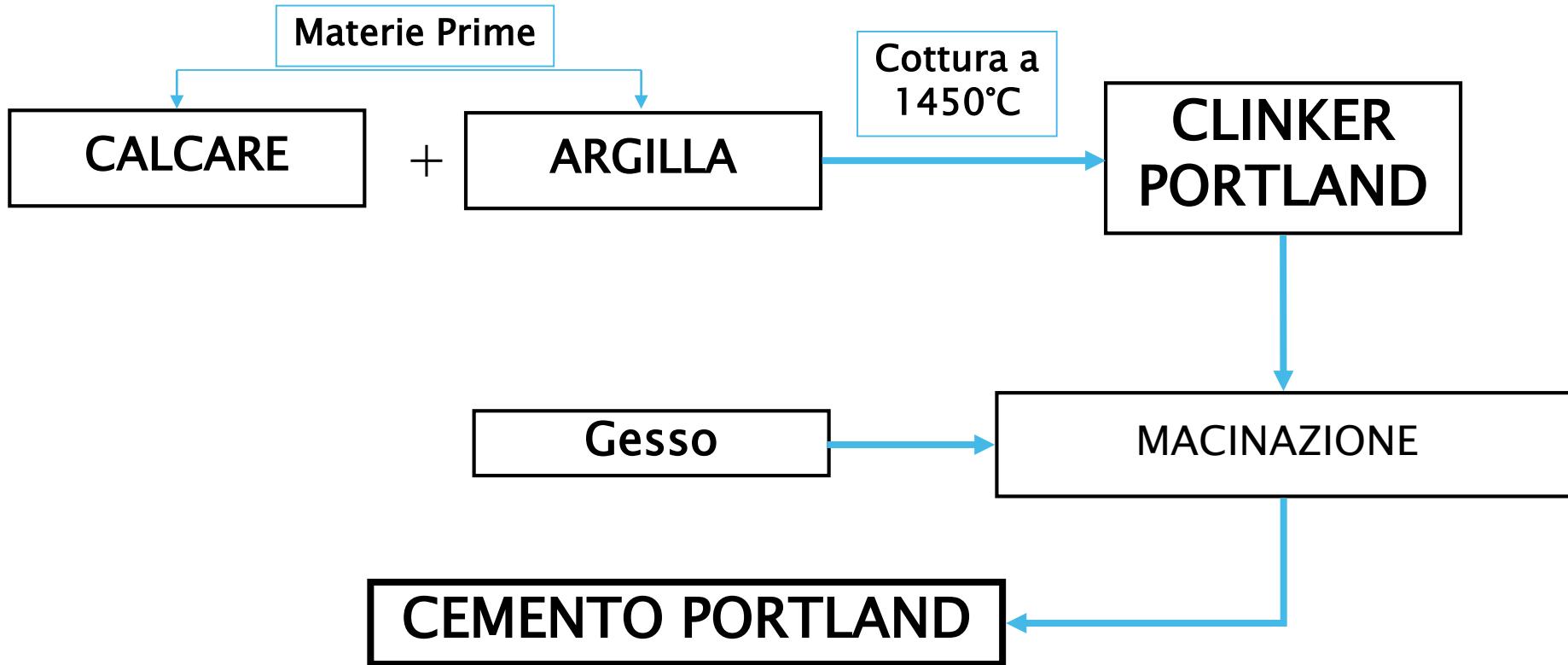
$\approx 800\text{-}1000^\circ\text{C}$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ decomposizione del carbonato di calcio

$\approx 1000\text{-}1250^\circ\text{C}$ $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 (\text{C}_2\text{S})$ formazione silicato bicalcico

$\approx 1250\text{-}1450^\circ\text{C}$ si forma una fase liquida ricca in C_3A (alluminato tricalcico) e C_4AF (ferroalluminato tetracalcico). Tale fase ricopre il C_2S e rende possibile una reazione che - altrimenti - avverrebbe a T più elevate:

$\text{C}_2\text{S} + \text{C} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$ formazione silicato tricalcico

Ciclo di produzione del Cemento Portland



Nomenclatura della chimica del cemento

Costituente mineralogico:	formula classica	formula convenzionale nella chimica del cemento	formula sintetica
silicato tricalcico - (alite)	Ca_3SiO_5	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
silicato bicalcico - (belite)	Ca_2SiO_4	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
alluminato tricalcico - (fase alluminosa)	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
ferro-alluminato tetracalcico (fase ferrica)	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Legenda

$C = \text{CaO}$	$S = \text{SiO}_2$	$A = \text{Al}_2\text{O}_3$	$F = \text{Fe}_2\text{O}_3$	$H = \text{H}_2\text{O}$
$N = \text{Na}_2\text{O}$	$K = \text{K}_2\text{O}$	$\bar{C} = \text{CO}_2$	$\bar{S} = \text{SO}_3$	$M = \text{MgO}$

Clinker Portland



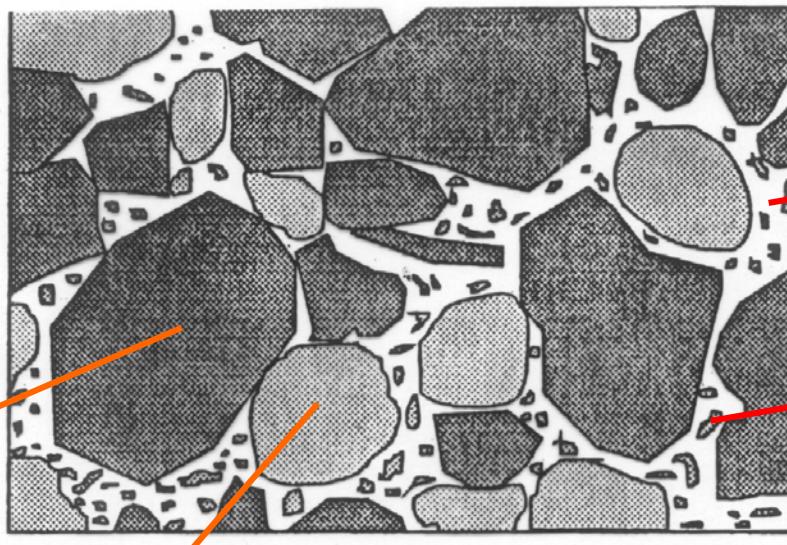
Composizione Mineralogica

C_3S	50–70%
C_2S	10–30%
C_3A	0–10%
$C_4A\ F$	0–15%

Composizione Chimica

$CaO = C$	60–67%
$SiO_2 = S$	16–26%
$Al_2O_3 = A$	4–8%
$Fe_2O_3 = F$	2–5%
MgO	1– 4%
$Na_2O + K_2O$	0–0.6 %
SO_3	0.1–2.5 %

Minerali del Clinker



C_3S
alite

C_2S
belite

C_4AF
fase ferrica

C_3A
celite

Per definire la finezza delle particelle di cemento si ricorre a due grandezze:

- **distribuzione granulometrica**
- **area superficiale specifica**

Il cemento risulta costituito da:

- Clinker
- Gesso (in misura del 3-5% in peso)

La reattività del cemento nei confronti dell'acqua dipende dalla finezza:

- 90% in peso ha dimensioni tra 2 e 90 µm
- 7-9% ha dimensioni inferiori a 2 µm
- 0-4% ha dimensioni superiori a 90 µm

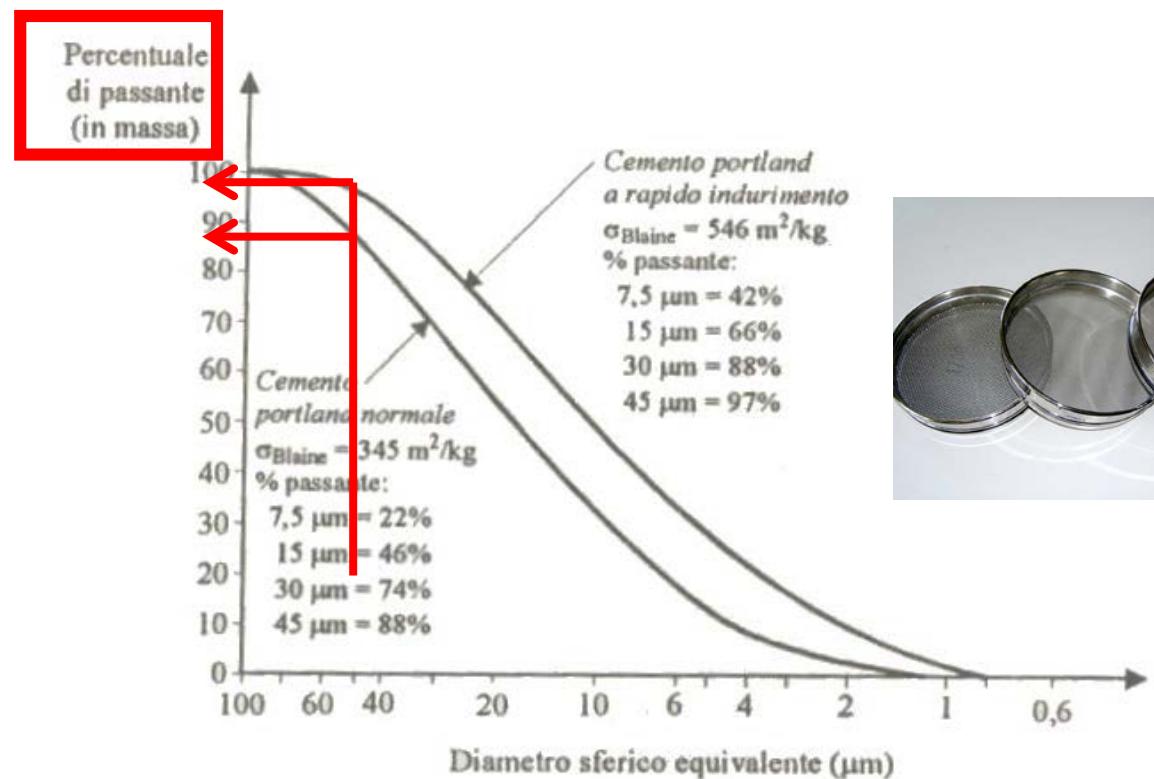
Si preferisce non scendere sotto i 2 µm perché aumentano notevolmente i costi di macinazione e le reazioni di idratazione divengono troppo veloci con notevole sviluppo di calore di idratazione



Distribuzione granulometrica

Le curve di distribuzione granulometrica consentono, fissata una certa dimensione delle particelle di ricavare la percentuale cumulativa in massa delle particelle di dimensioni inferiori (esempio in figura) o superiori. In genere la curva granulometrica di un cemento assume l'andamento a S.

Curva di distribuzione granulometrica di un cemento portland ordinario e a rapido indurimento



Area superficiale specifica

Si intende l'area totale della superficie esterna di tutte le particelle di cui la polvere è costituita riferita all'unità di massa.

L	$\sigma (m^2/kg)$
1cm	0.19
1mm	1.9
100 μm	19
10 μm	190
1 μm	1900
0,1 μm	19000

Superficie specifica di una polvere monodispersa di cemento in funzione del diametro delle particelle (supposte di forma sferica)

Moduli: Determinazione composizione Cementi Portland

$$M_i = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad M_s = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad M_f = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad M_c = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

- **Modulo Idraulico (M_i)** = Rapporto Tra componenti basici e quelli acidi del Clinker (compreso tra 1.8 – 2.2);
- **Modulo Silicico (M_s)** = definisce la porzione di fasi siliciche; il suo aumento fa diminuire la frazione liquida nel forno e rende difficile la cottura (2-3);
- **Modulo dei Fondenti (M_f)** = definisce la percentuale di fase alluminosa rispetto a quella ferrica (1-4);
- **Modulo calcareo o della calce restante (M_c)** = rapporto tra calce combinata con la silice e la silice (compreso tra 1.87 – 2.8):
 - Se $M_c > 2.8$ c'è calce libera;
 - Se $M_c = 2.8$ c'è solo C_3S ;
 - Se $M_c = 1.87$ c'è solo C_2S