

Leganti e malte

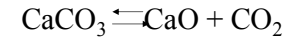
I **leganti** sono materiali che, se miscelati con acqua, hanno la capacità di legarsi agli aggregati, facendo presa ed indurendo progressivamente grazie a reazioni chimiche.

Essi possono essere **aerei** (calce aerea, gesso, argilla –indurisce per semplice essiccamento–, cemento magnesiaco), o **idraulici** (calce idraulica, cemento), a seconda della loro capacità di far presa solo all'aria o anche in ambiente umido.

Produzione della calce:

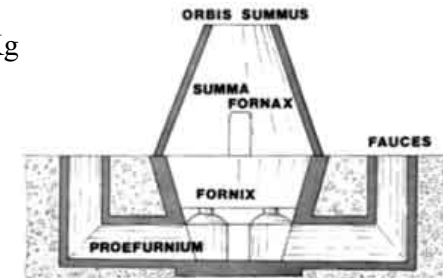
- Per cottura del calcare (CaCO_3)

si ottiene la reazione:



Il processo è fortemente endotermico, per produrre 100kg di calce occorrono 20Kg di carbone.

La trasformazione completa del carbonato in calce avviene a 900°C ,



La calce:

- Calce viva o in zolle: CaO (ossido di calcio) Calce spenta: Ca(OH)_2 (idrossido di calcio)
- Spegnimento della calce viva:
 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$ Utilizzando un eccesso di acqua si ottiene una massa plastica chiamata grassello
- Resa in grassello: $\text{RG} = \text{Volume del grassello in m}^3 / \text{Massa della calce viva in T}$.
- $\text{RG} > 2,5$ calci grasse. Derivano da calci più pure a grana fine.
- $\text{RG} < 2,5$ calci magre. Derivano da calcari meno puri o a grana grossa.
- Per evaporazione dell'acqua si ha un ritiro volumetrico del grassello accompagnato da crepe e fessurazioni



Le malte:

Le malte sono miscele di legante, sabbia e acqua in dosi tali da formare un impasto plastico che con il tempo fa presa e indurisce attraverso reazioni chimiche che provocano un fenomeno irreversibile.

Malta di calce aerea:

- Calce idrata, acqua, sabbia e grassello: grassello (1 volume) + sabbia (3 volumi) = malta di calce
- L'Anidride carbonica dell'aria reagisce con il Ca(OH)_2 secondo la reazione $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- Presa: evaporazione dell'acqua di impasto
- Indurimento: carbonatazione
- Il carbonato di calcio insolubile salda gli elementi della malta che acquista notevole resistenza a compressione

Malte idrauliche:

Le malte a base di calce aerea realizzate con grassello o calce idrata possono essere rese idrauliche aggiungendo, al momento dell'impasto, frazioni di pozzolana o di cocchiopesto.

- La pozzolana, inizialmente estratta dalle cave di Pozzuoli (lapilli), è un prodotto di origine vulcanica costituito prevalentemente da silicati idrati di allumina, da silice al 70%, ossido di ferro, potassio, sodio e magnesio. Hanno natura acida e reagiscono con l'ossido di calcio (basico) per dare silicati amorfi.
- L'argilla cotta (cocchiopesto), inerte usata fin dall'antichità, è un'argilla composta da silicato di alluminio cotto e frantumato. Si può considerare una pozzolana artificiale, infatti veniva usata dai Romani per rendere idraulico il grassello di calce per realizzare interventi in presenza di acqua (Acquedotti, fogne, porti ecc) e come impermeabilizzante di coperture.

Malte idrauliche:

- La pozzolana ed il cocchiopesto combinandosi con la calce e l'acqua danno origine a malte che hanno proprietà cementanti (idraulicità).
- L'impiego sia della pozzolana che del cocchiopesto, grazie alla loro composizione reattiva, consentono alla malta aerea di acquisire caratteristiche meccaniche superiori e di ridurre i tempi di indurimento che, normalmente, sono abbastanza lunghi.

Gesso:

- Prodotto artificiale ottenuto dalla cottura di una roccia sedimentaria di composizione $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (saccaroide, selenite) e successiva macinazione. Per riscaldamento il solfato di calcio biidrato si decompone.
- La forma più reattiva è l'emidrato pertanto la cottura della pietra da gesso avviene tra 128°C e 163°C

Gesso:

Gesso fine o da presa

ottenuto a temperatura di 130°C circa, particolarmente pregiato, macinato molto finemente, utilizzato per stucchi e modelli

Gesso comune o da fabbrica, Scagliola

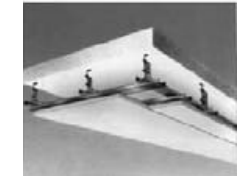
Ottenuto da una cottura tra i $180^\circ - 250^\circ\text{C}$ e da macinazione meno fine, utilizzato per ottenere elementi di finitura regolare ed intonaci

Gesso forte

Ottenuto da una cottura intorno ai 300°C caratterizzato da una capacità di idratarsi e fare presa molto lenta, ma da caratteristiche meccaniche molto elevate; utilizzato per la realizzazione di lastre, tavelle ed elementi strutturali

Gesso idraulico o per pavimenti

ottenuto da una cottura intorno ai 1000°C , caratterizzato da una presa molto lenta, ma da caratteristiche meccaniche molto elevate, utilizzato per la realizzazione di sottofondi per pavimenti comuni da incollaggio



Messa in opera del gesso:

Impastato con una massa d'acqua pari a 2/3 del peso il gesso forma una massa plastica che indurisce rapidamente.

Nel corso della presa e indurimento il gesso subisce un leggero aumento di volume.

Tramite l'aggiunta di inerti refrattari quali allumina o silice il gesso può formare componenti refrattari quali stampi, crogiuoli etc.

Tipologie di gesso commerciale

Composizione chimica	Grado di purezza e macinazione	Aggiunta	Prodotto tecnico
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ β	Puro, finissimo		Gesso di Parigi
	puro, fine		Gesso da dentisti
			Gesso da modellatori
	Comune, finissimo		Gesso da forma
	Comune, fino		Gesso da stucco
	Comune grosso		Gesso da intonaci
		+ allume	Gesso allumato
CaSO_4 α		+ borace	Gesso al borace
		+ calce idrata	Gesso alla calce
		Silicati di K	Gesso al silicato
			Gesso comune
			Gesso da fabbrica

Cemento:

Il cemento è un **legante idraulico** che si presenta sotto forma di polvere finissima. Il componente fondamentale del cemento è il **clinker**, un prodotto della cottura di materiali naturali che, combinato con altri componenti, dà luogo a vari tipi di cemento.

Il clinker è costituito da composti semplici: calce, silice, allumina, ossidi di ferro e di magnesio, ed altri componenti minori.

- La calce che fornisce l'ossido di calcio proviene per lo più dalle rocce calcaree ed ha carattere basico. Interviene per il 65%.
- La silice proviene dalle sabbie, argille e scisti e presenta carattere acido; interviene per il 25%.
- L'allumina proveniente anch'essa dall'argilla, è contenuta in quantità che vanno dal 4 al 10%.

Si usa distinguere i clinker in **naturali** ed **artificiali**; i primi sono ottenuti dalle marne, che contengono già in proporzione i componenti fondamentali; per i secondi si usano miscele preparate artificialmente di calcari marne e argille.

La cottura (clinkerizzazione) porta alla formazione di composti chimici con proprietà idrauliche grazie a reazioni chimiche che avvengono a temperatura (1.000-1.500°C).

Cemento portland:

prodotto ottenuto per macinazione di clinker con opportuna aggiunta di **gesso** o **anidride**, dosato nella quantità necessaria per regolarizzare il processo di idratazione iniziale.

Fabbricazione del portland:

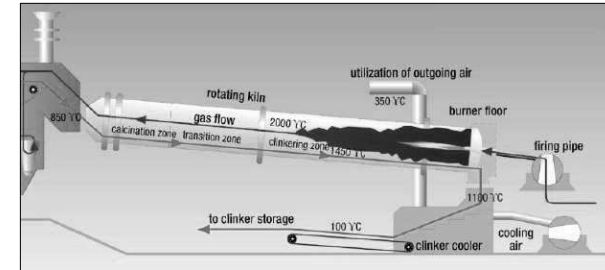
Macinazione e miscelazione delle materie prime.

Cottura e ottenimento del clinker

Macinazione del clinker con aggiunta di piccole quantità di gesso.

Fasi del processo termico:

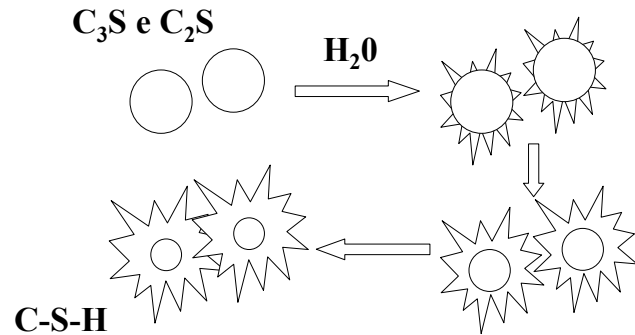
La cottura delle materie prime, costituite principalmente da argille (20-25 %), calcari e marne avviene in forni rotanti:



L'idratazione di un cemento

- Il processo di idratazione è un **processo irreversibile** che porta il cemento verso la sua forma di equilibrio (composti idrati) a partire dalla forma di non equilibrio (fase anidra)
- Si assume che **ogni costituente anidro reagisce indipendentemente** dalla presenza degli altri costituenti anche se durante il corso delle reazioni si verificano diverse interazioni.
- **La reazione** di idratazione **procede dalla superficie** della fase anidra creandovi intorno una fase anidra.
- In termine di qualche mese **la diffusione dell'acqua diventa il parametro principale di controllo** della velocità di idratazione.

L'idratazione di un cemento



Classificazione rispetto alla resistenza a 28gg.

•325normale

•425ad alta resistenza

•525ad alta resistenza e rapido indurimento

325kg/cm² equivalgono a 32,5N/mm²; oggi si usa la seconda unità di misura, classificando il cemento come, per esempio, 32,5R

classe di resistenza del cemento: Classe di resistenza alla compressione.

resistenza caratteristica: Valore della resistenza al disotto del quale si attende che cada il 5% della popolazione di tutte le misure possibili di resistenza sul volume di calcestruzzo considerato.

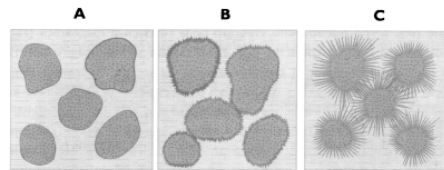
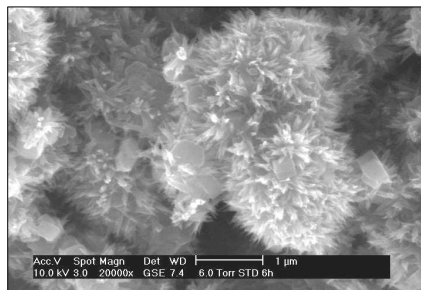


Fig. 3.6 - Idratazione schematica del C_3S o C_2S : subito dopo il mescolamento con acqua (A), inizio della presa (B) e durante l'indurimento (C).



C-S-H

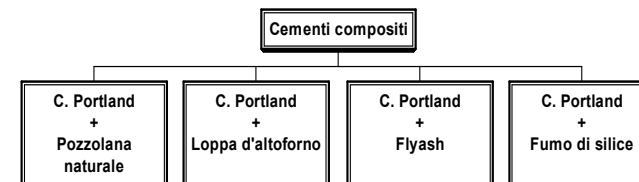
Schematizzazione del processo di reazione.

Le reazioni di idratazione sono esotermiche

La velocità delle reazioni dipende dalla superficie di contatto con l'acqua, e quindi dalla finezza delle particelle di clinker

Cementi compositi

- Sono leganti idraulici composto di cemento Portland e di una o più aggiunte minerali che prendono parte alle reazioni di idratazione. Le aggiunte minerali possono essere mescolate o intermacinate al Portland



Questi materiali vengono utilizzati:

- Per eliminare materiali di scarto di altri processi produttivi (loppa, silica fume...)
- Per ottenere cementi capaci di dare prestazioni particolari (alte resistenze meccaniche, bassa porosità...)

Si possono dividere in due categorie:

**Materiale
pozzolanici**

**Leganti
idraulici
nascosti**

Reazione pozzolanica

- Viene chiamata “reazione pozzolanica” l’azione della calce, prodotta nei cementi Portland dall’idratazione dei silicati sui materiali pozzolanici, che porta alla formazione di C-S-H secondario
- E’una reazione più lenta di quella che produce C-S-H a partire da C_3S e C_2S

Cementi Pozzolanici

- ottenuti dalla macinazione, senza aggiunta di inerti, di una mescolanza di clinker puro e pozzolana (più gesso); la **pozzolana** è un materiale naturale di origine normalmente vulcanica (rioliti, tufi) o più raramente sedimentaria (rocce ricche in fossili silicei)
- la pozzolana naturale mostra pregi che sono comuni a tutti i materiali descritti in seguito:

Maggiori resistenze meccaniche e diminuzione della porosità.

Minor calore di idratazione

Loppa d’altoforno

- Provengono da processi di manifattura del ferro dalla reazione delle polveri di carbone con i minerali di ganga
- Di composizione molto variabile tra i vari altoforni, ma costante all’interno del medesimo stabilimento. Di norma elevata in SiO_2 (silice) e spesso in Al_2O_3 (allumina)
- Tramite raffreddamento rapido si forma un materiale che contiene dal 50% al 95% di vetro molto reattivo

Cementi d'altoforno

miscela omogenea ottenuta con la macinazione di clinker e di loppa basica granulata d'alto forno (più il gesso); la granulazione della loppa si ottiene raffreddandola bruscamente in acqua, quando si trova ancora allo stato fuso all'uscita dall'alto forno.

Si possono produrre cementi con percentuali di loppa anche superiori all'80% (i più comuni ne hanno circa il 45%)

Vantaggi

- **Prodotti d'idratazione e microstruttura simile a quella del cemento Portland**
- **Minor calore di idratazione**
- **Resistenze meccaniche su tempi molto lunghi più elevate**

Svantaggi

- **L'idratazione della loppa è più lenta di quella del cemento.**
- Questo comporta basse resistenze meccaniche ai brevi tempi**

Flyash

- La cenere volante può sostituire il cemento in percentuali molto variabili. Di norma tra il 35% e il 45%

Composizione chimica di una tipica "Flyash" povera in Ca

Na ₂ O	1.5	CaO	2.4
MgO	1.6	TiO ₂	0.9
Al ₂ O ₃	27.9	Mn ₂ O	tr.
SiO ₂	48.7	Fe ₂ O ₃	9.5
P ₂ O ₅	0.2	C	1.5
SO ₃	1.2	H ₂ O	0.3
K ₂ O	4.2	Totale	99.9

Flyash

- E' una polvere, residua dalle centrali termiche a carbone
- La composizione è dipendente da quella del carbone e dalle condizioni di combustione. Normalmente sono alte in SiO₂, Al₂O₃ e variabili in CaO
- E' formata da microsfele (5-90µm) vetrose (fino all'80-90%) sulla cui superficie sono attaccati microcristalli ematite, magnetite, mullite, quarzo e carbone

Cementi con Flyash

Vantaggi

- **Prodotti d'idratazione e microstruttura simile a quella del c. Portland**
- **Minor richiesta d'acqua**
- **Maggiore lavorabilità grazie alla microstruttura sferica delle particelle vetrose**

Svantaggi

- **Presenza di carbone incombusto che scolorisce il cemento e interferisce con gli additivi**
- **L'idratazione della loppa è più lenta di quella del cemento. Questo comporta basse resistenze meccaniche ai brevi tempi**

Cementi ferrici (caratterizzati da un'elevata resistenza chimica alle acque aggressive, da basso calore di idratazione e basso ritiro), **cementi ferrici pozzolanici**.

Fumo di silice

- E' un sottoprodotto del processo produttivo del Si metallico e delle leghe Fe-Si
- E' composto al 95-99.5% di microsfere vetrose (~0.1µm) e quindi capace di riempire gli interstizi lasciati dal cemento
- Composto quasi esclusivamente da SiO₂
- E' un materiale pozzolanico

CEMENTI CALCIO ALLUMINOSI (CACs)

- I cementi calcio alluminosi sono ricavati dalla cottura in forni rotanti , a circa 1450-1600°C, di calcari, calce viva, bauxite o altri materiali poveri in SiO₂
- Hanno un colore che passa dal giallo-bruno, al grigio, al nero a seconda della composizione
- Mostrano, in particolare in combinazione con aggiunte minerali, proprietà molto interessanti al livello edilizio, sono caratterizzati da rapida presa

Cementi con Fumo di silice

Vantaggi

- Prodotti d'idratazione simili a quella del cem. Portland
- Microstruttura più compatta con bassa permeabilità e alte resistenze meccaniche

Svantaggi

- Maggiore richiesta d'acqua compensabile con l'aggiunta di additivi superplasticizzanti
- Non può essere utilizzato in percentuali superiori al 10-15% per non abbassare troppo la lavorabilità

Idratazione di un CACs

Bisogna però tener presente che:

- Si forma sempre una piccola percentuale di vetro.
- Sono presenti altre fasi in percentuali molto minori generate da impurità.
- La velocità della trasformazione è dipendente dalla Temperatura. A 5°C dura anni ma a 50°C è virtualmente immediata.

Presenza di un CACs

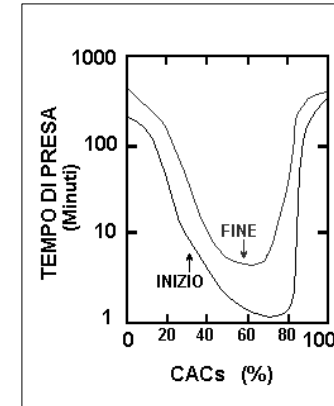
Come la composizione delle fasi anche il tempo di presa è fortemente influenzato dalla Temperatura:

Il tempo di presa è influenzato da altri due fattori:

- Rapporto C/A . Con un rapporto C/A superiore a 1.20 la presa è immediata, se il rapporto scende fino a 1.06 può durare da 6h a 12h
- Energia e tempo di mixing. Al crescere di questi due fattori si nota una accelerazione della presa

Cementi a presa rapida

- Varie combinazioni di CACs, C_3H_2 , CH e cemento Portland portano alla rapida formazione di Ettringite, con abbondante assorbimento d'acqua e con accelerazione del fenomeno della presa



Indurimento di un CACs

Il passare del tempo favorisce la trasformazione degli idrati di bassa temperatura in C_3AH_6 . Questa conversione porta due effetti negativi:

- Notevoli diminuzioni di volume.
- Liberazione di molta acqua

Entrambi questi effetti portano alla formazione di una eccessiva porosità ed ad una perdita in resistenza meccanica.

La resistenza meccanica è elevata all'inizio per la formazione del CAH_{10} , subisce un decremento dovuto alla trasformazione di fase e infine riprende a crescere per la ripresa dell'idratazione.

Cementi Espansivi

Un normale cemento Portland si espande durante l'idratazione, ma la perdita d'acqua per evaporazione supera questa variazione di volume.

Se il cemento è trattenuto si possono generare delle tensioni che possono portare a rottura.

I cementi espansivi possono essere divisi in due categorie:

COMPENSANTI
CONTRAZIONE

L'espansione ha il solo scopo di prevenire la rottura

AUTO
STRESSANTI

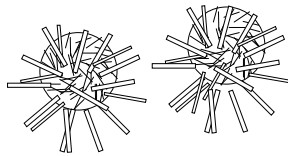
Per produrre calcestruzzi precompressi

Cementi Espansivi

Per ottenere l'espansione si provoca la formazione di ettringite, composto che dà cristalli con un elevato volume e dotati di ottime resistenze meccaniche.

Inizialmente i cristalli di Ettringite che si formano sui grani sono piccolissimi e non orientati.

Raggiunto un certo grado di sviluppo (~ 50%) iniziano a formarsi grossi cristalli aghiformi di Ettringite che crescono radialmente.



Meccanismo di espansione

- L'espansione inizia nel momento in cui i cristalli in crescita si toccano ed iniziano ad esercitare una spinta reciproca.

