

Istituto RIGHI

CHIOGGIA

08 aprile 2011

Il cemento

I Leganti

Materiali leganti

Nel settore delle costruzioni, con la denominazione “materiali leganti” sono definiti quei prodotti che, mescolati con acqua, danno origine ad impasti che induriscono progressivamente ed acquistano con il tempo consistenza lapidea.

A seconda dei casi, i leganti sono usati da soli o con altri materiali, allo scopo di ottimizzare le loro caratteristiche d'impiego e di conseguire la massima economia

Leganti aerei

Leganti idraulici

Materiali leganti

↳ Leganti aerei

⇒ Calce aerea

⇒ Gesso

↳ Leganti idraulici

⇒ Leganti silico-calcarei

⇒ Leganti alluminosi

⇒ Leganti solfoalluminosi

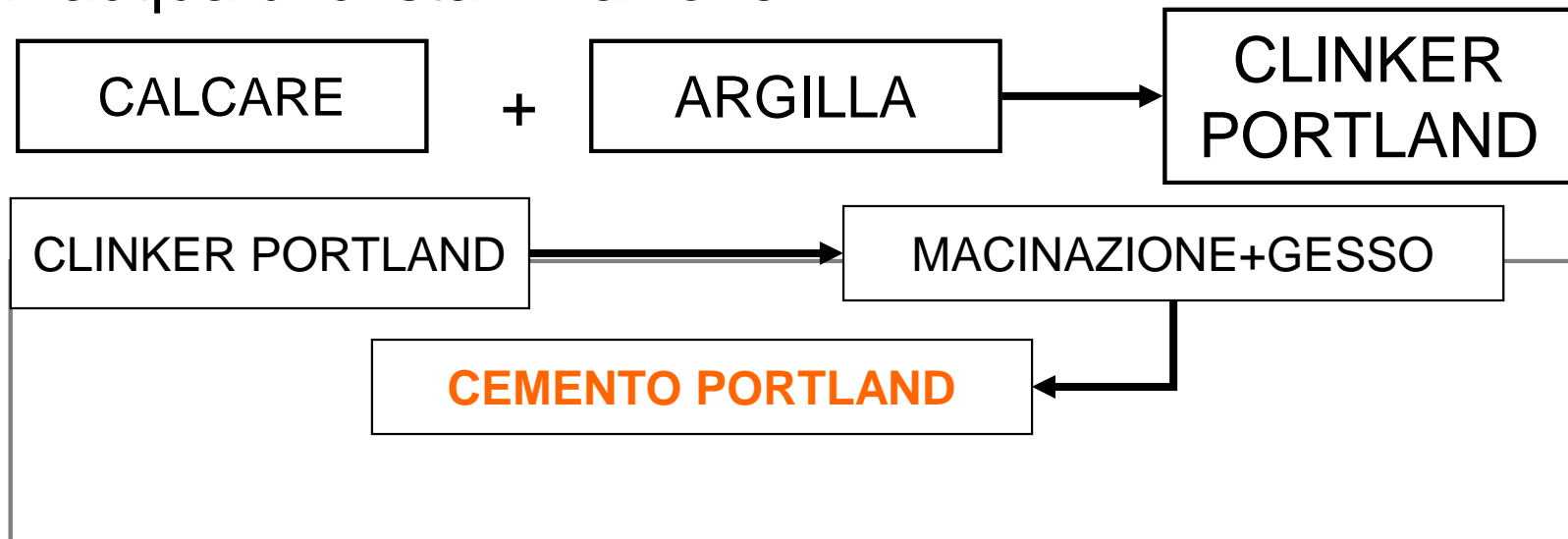
⇒ Leganti fluoalluminosi

Leganti idraulici

Leganti silico-calcarei

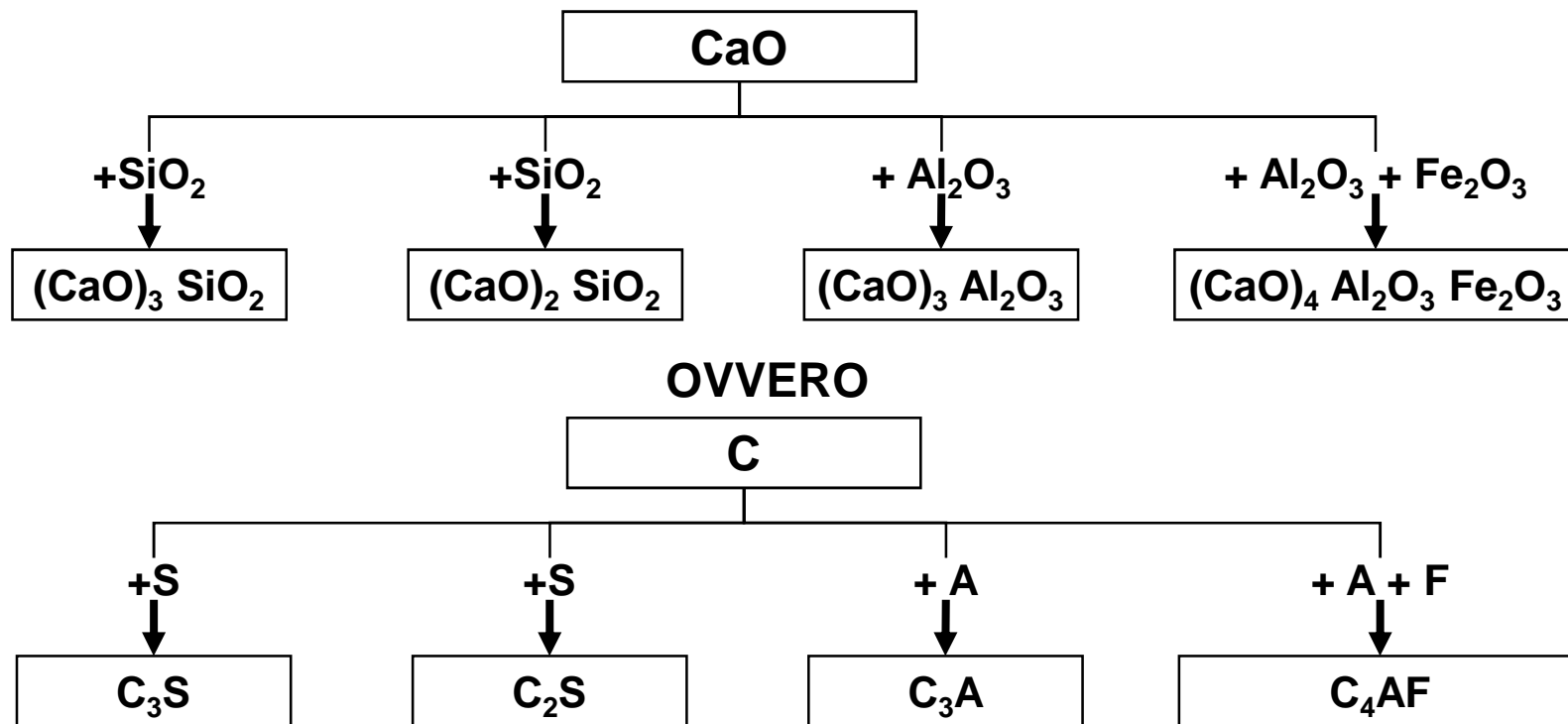
Cementi: tutti contengono clinker

Il clinker è un prodotto ottenuto per cottura ad alta temperatura di miscele intime di calcare ed argilla. Il calcare contiene prevalentemente carbonato di calcio, l'argilla contiene silice, allumina, ossido di ferro, oltre all'acqua di cristallizzazione



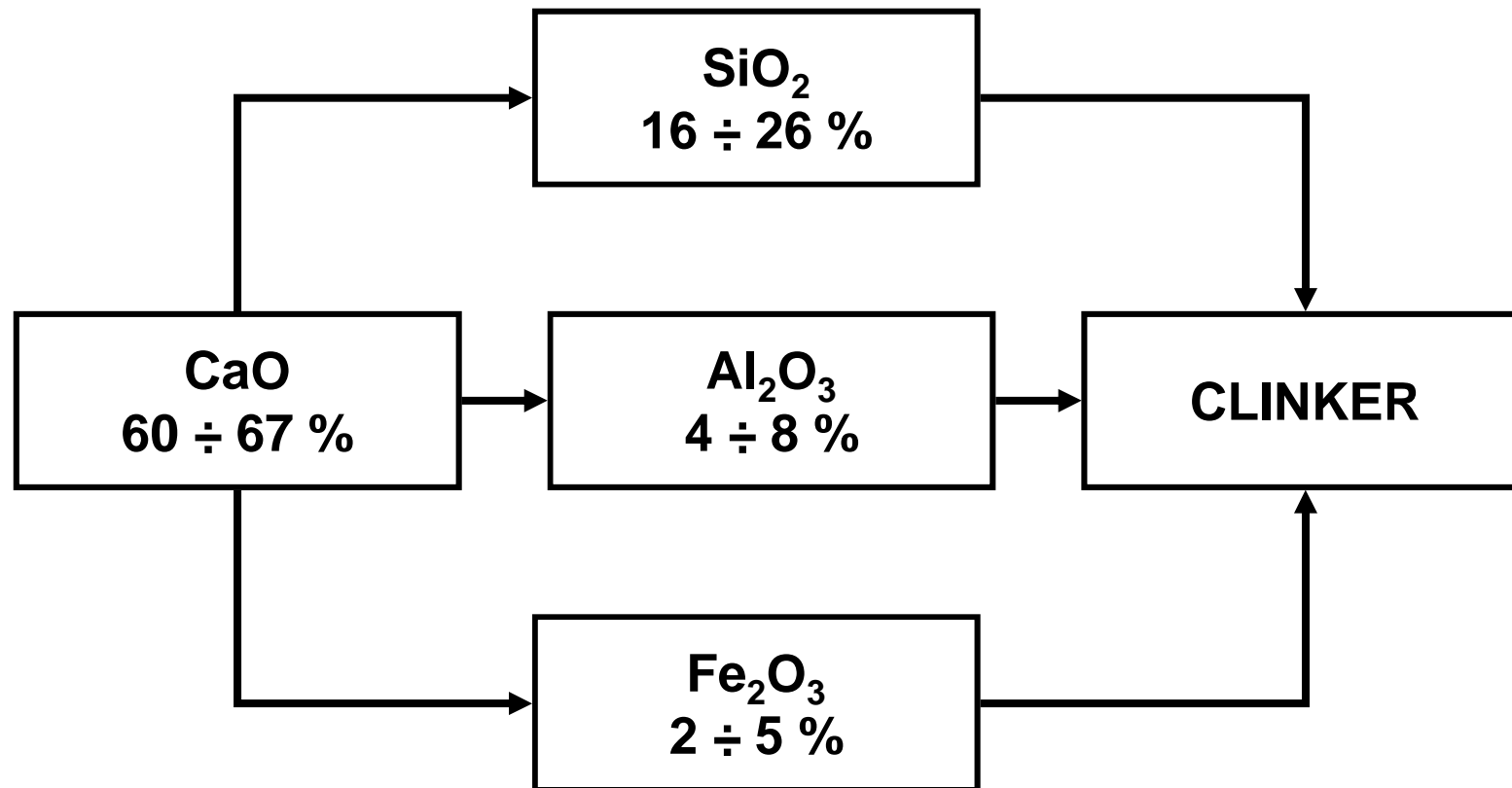
Clinker per cemento portland

↪ Reazioni chimiche principali nella formazione del clinker



Clinker per cemento portland

↳ Composizione chimica



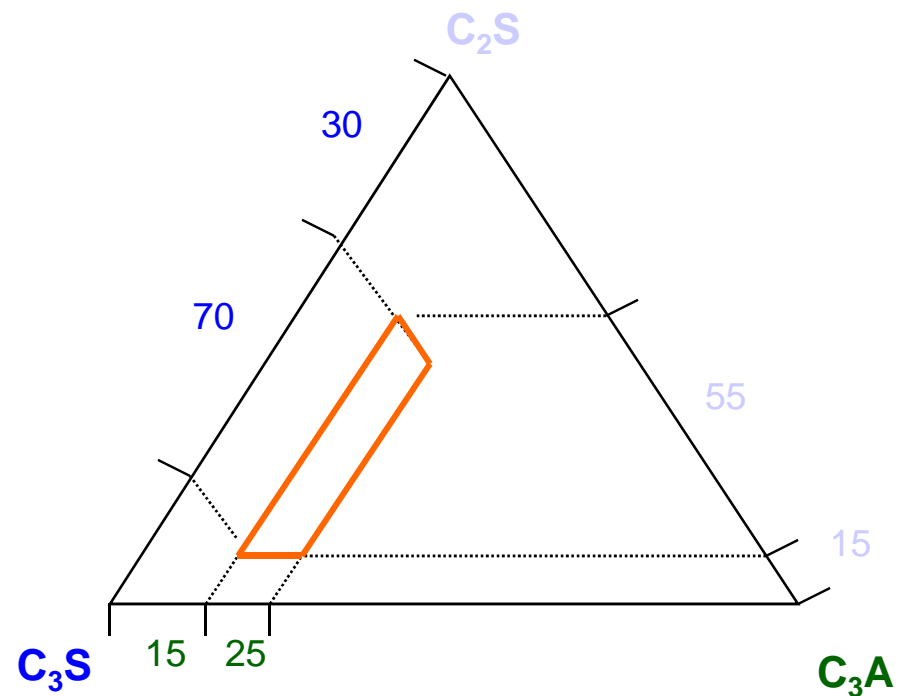
Clinker per cemento portland

Composizione del clinker

- ⇒ La composizione chimica del clinker può variare solo entro certi limiti che sono vincolati dagli equilibri di fase, ma che dipendono anche da esigenze produttive ed applicative
- ⇒ I limiti pratici sono indicati nella Fig. 1
- ⇒ C_3A e C_4AF non devono essere presenti in quantità troppo basse, altrimenti non possono sviluppare la loro azione fondente, indispensabile per la cottura industriale, né troppo alte, poiché possono formare incrostazioni che ostruiscono il forno
- ⇒ I minerali che impartiscono la caratteristica resistenza al cemento sono C_3S e C_2S (Fig. 2)
- ⇒ C_3A e C_4AF danno contributi insignificanti alla resistenza meccanica del cemento

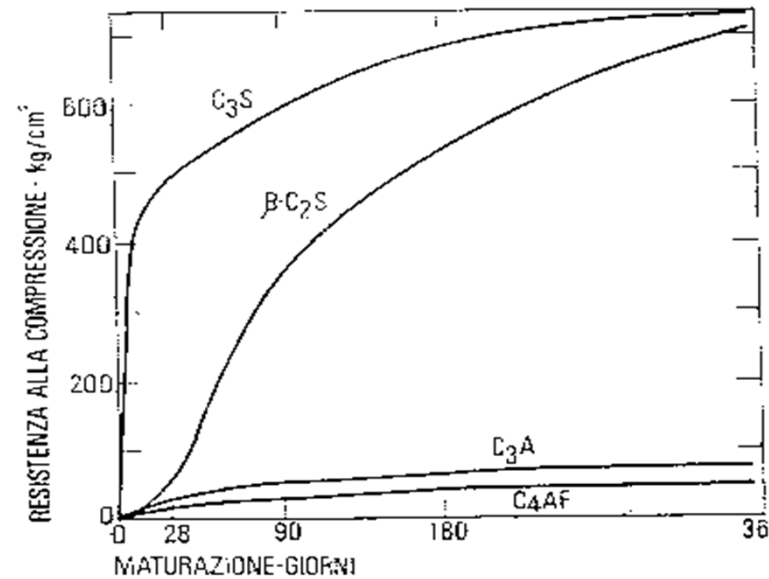
Clinker per cemento portland

↪ Figura 1: Limiti di composizione del clinker di cemento portland



Clinker per cemento portland

↪ Figura 2: Resistenza alla compressione in funzione del tempo di maturazione di C_3S , $\beta-C_2S$, C_3A , C_4AF puri.



Cementi

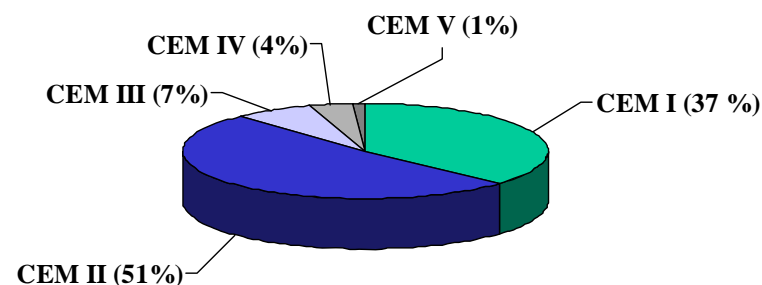
I cementi normalizzati

Il cemento portland, capostipite dei cementi moderni, si ottiene per macinazione promiscua di clinker e gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). L'aggiunta di solfato di calcio è indispensabile per regolare la presa del cemento

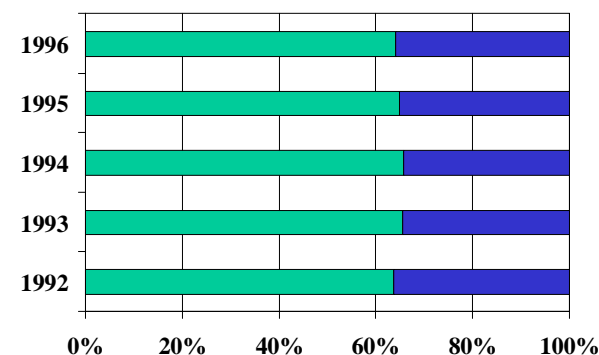
La maggior parte dei cementi oggi prodotti in Europa è formata da cementi cosiddetti *di miscela* che, oltre al clinker, contengono altri componenti.

- ⇒ I materiali a comportamento pozzolanico
- ⇒ Le loppe basiche granulate d'altoforno
- ⇒ Il calcare

Vendite di cemento per tipo
23 paesi Europei - 1994



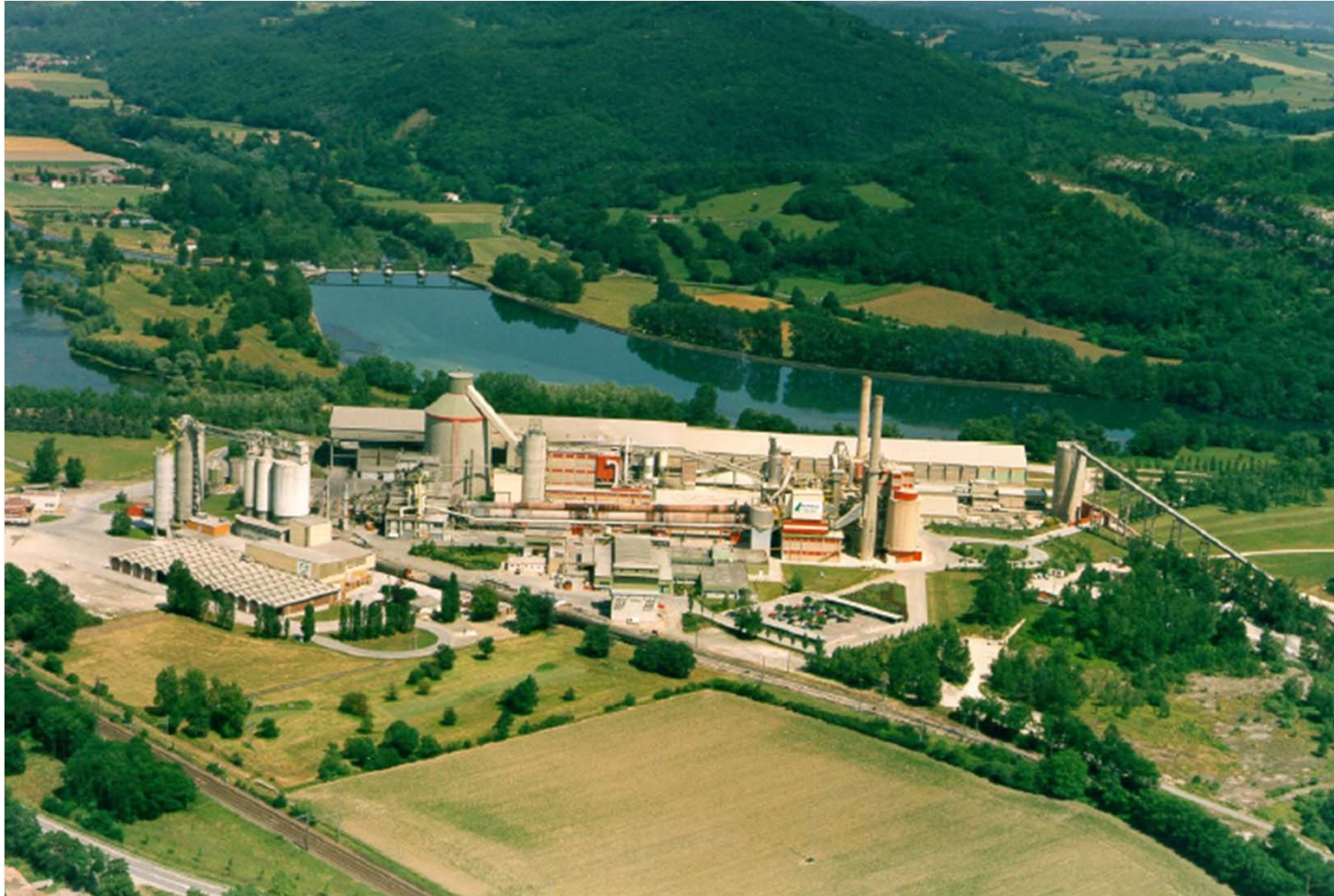
Andamento della ripartizione qualitativa dei cementi in Italia



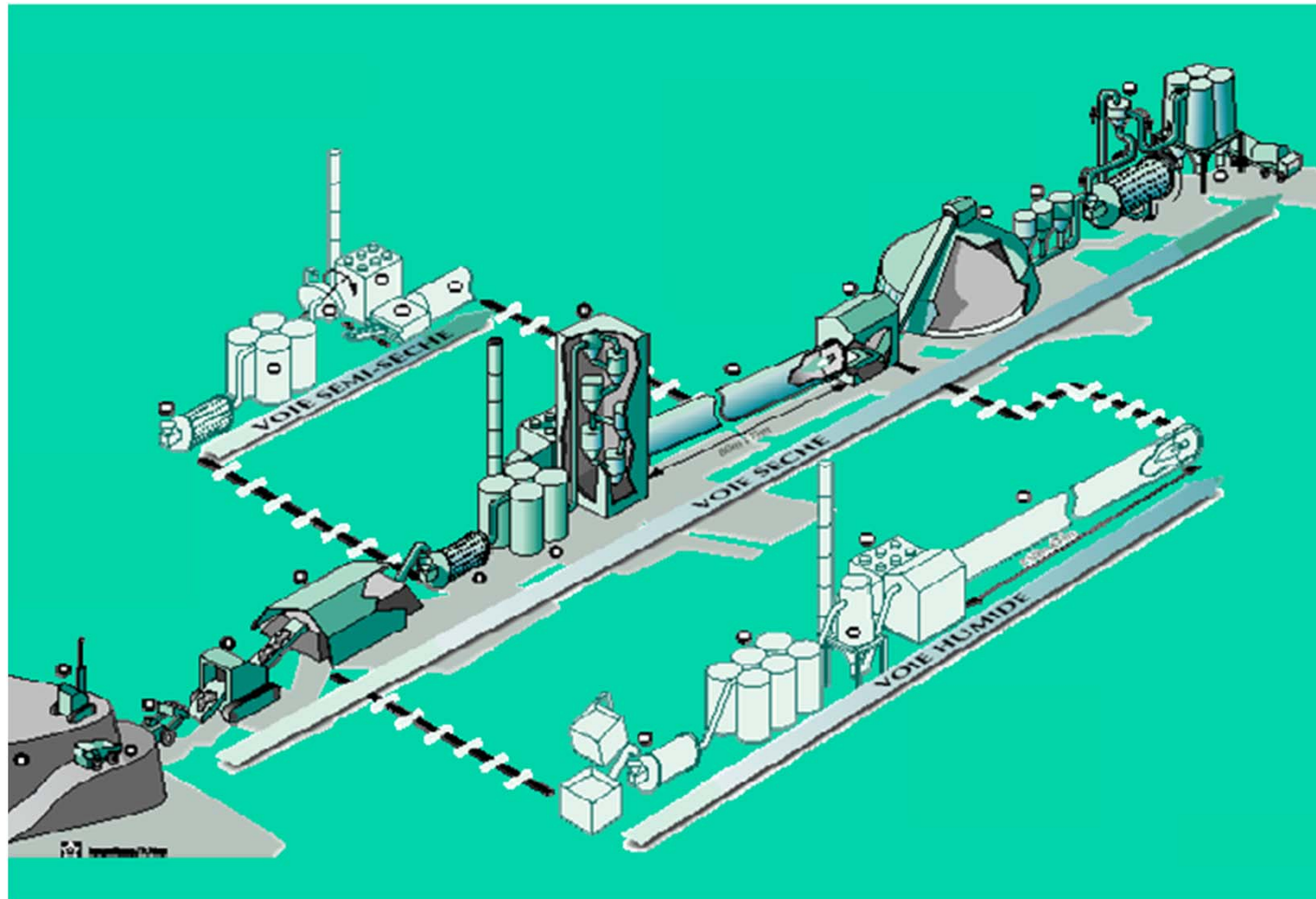
	1992	1993	1994	1995	1996
■ cementi ad alta resistenza	36,40%	34,50%	34,40%	35,20%	36,00%
■ Cementi normali	63,60%	65,50%	65,60%	64,80%	64,00%

La produzione

LA CEMENTERIA

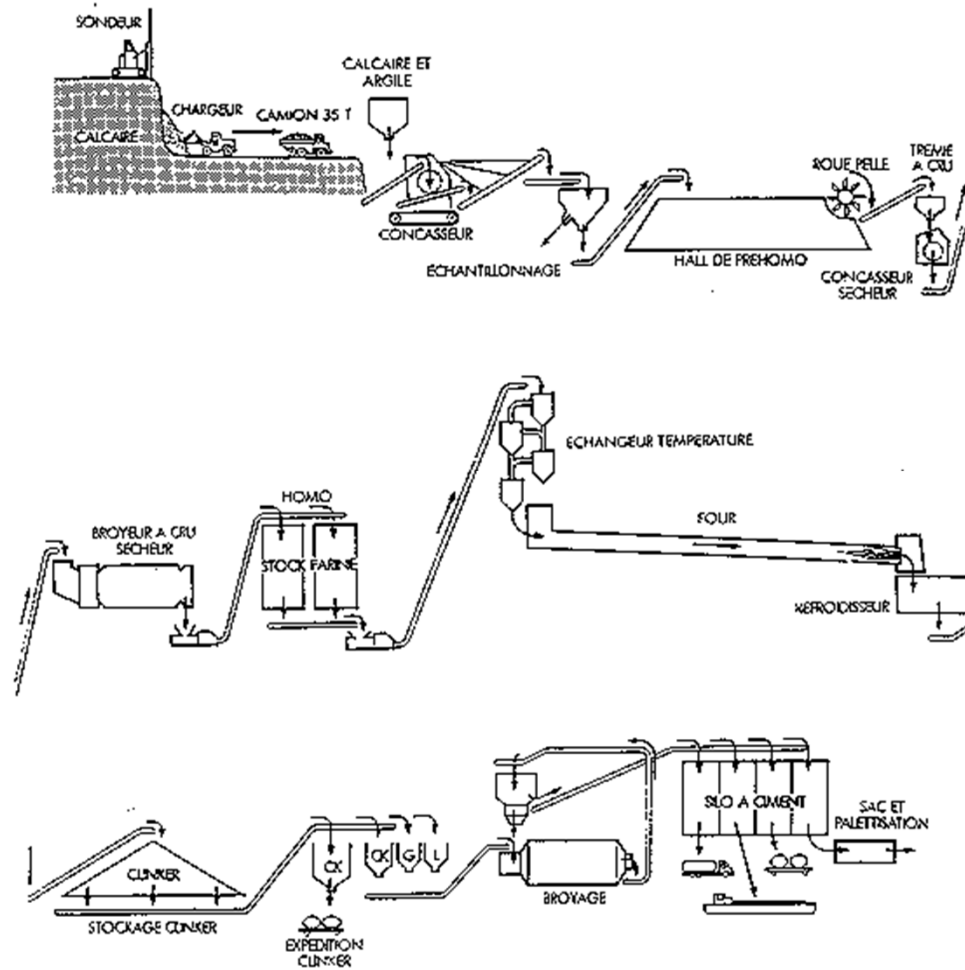


SCHEMA GENERALE



SCHEMA GENERALE

Le tappe principali nella fabbricazione del cemento



SCHEMA GENERALE

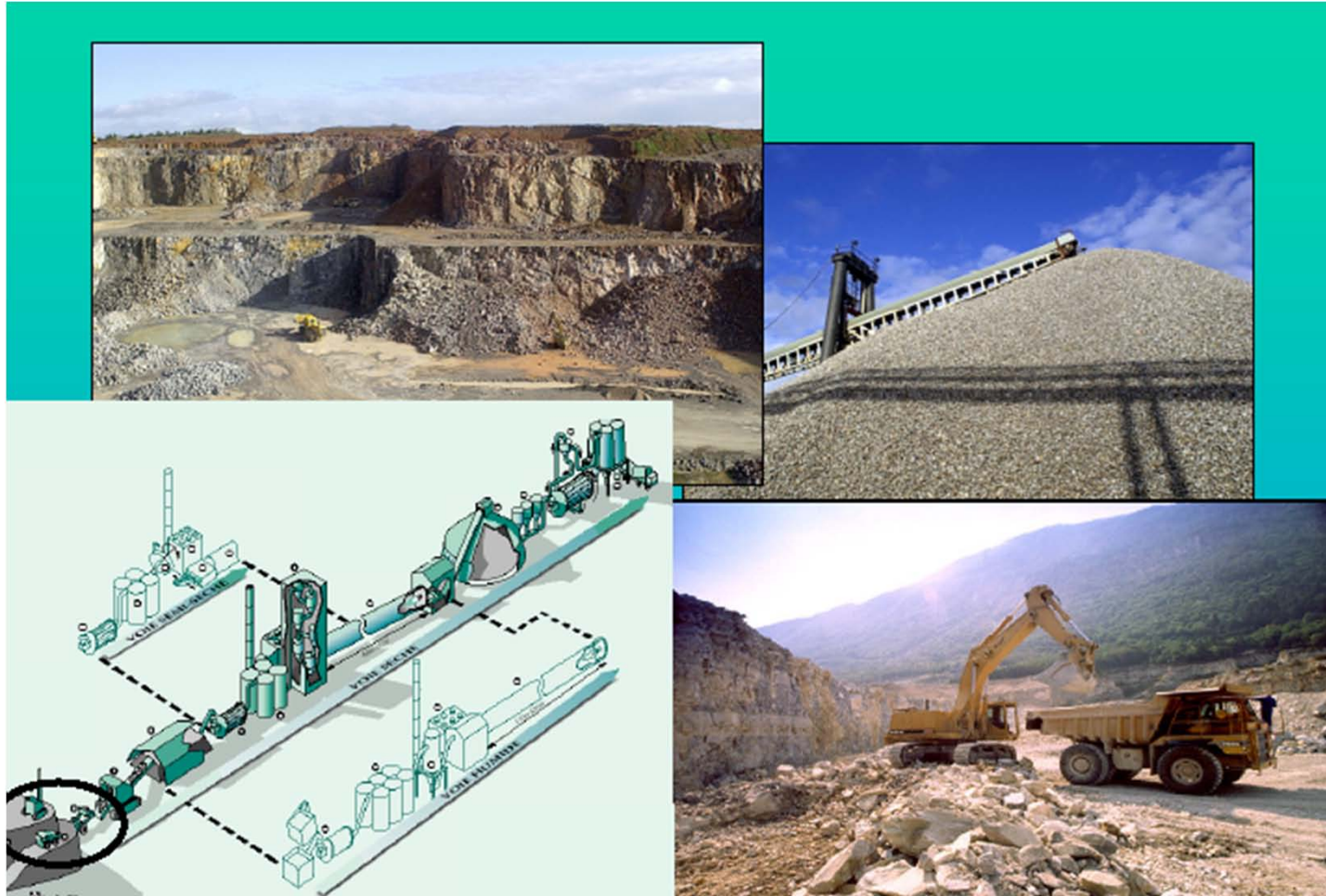
- Le materie prime necessarie alla fabbricazione del clinker sono il **calcare** (80%) ed un materiale ricco in silice ed allumina (**20%**), ad esempio **argilla** o **caolino**
- Queste materie vengono estratte dalle cave, frantumate, e proporzionate all'atto della macinazione o attraverso la costituzione di “letti di omogeneizzazione”
- Dopo macinazione (dimensioni dei grani inferiori a 160 micrometri), la miscela è immagazzinata in sili dove la composizione chimica può venire corretta tramite delle aggiunte adeguate

ESCAVAZIONE MATERIE PRIME

Le correzioni vengono, in genere, effettuate attraverso spettrometri a fluorescenza X automatizzati ed integrati nella rete informatica di gestione



LA CAVA



SONDAGGI



Una corretta gestione delle attività estrattive di cava include l'effettuazione di sondaggi del giacimento

Le tecniche moderne di gestione delle cave, sviluppate dai nostri geologi, sono basate sull'analisi delle carote di sondaggio e sull'impiego di mezzi informatici

ABBATTIMENTO

L'estrazione della materia prima viene effettuata, a seconda della durezza delle rocce, con esplosivo o per abbattimento

Nel caso del **Calcare**, (materiale duro) si utilizzano circa 120 g d'esplosivo per tonnellata di calcare abbattuto

L'**Argilla** è un materiale tenero e plastico, che si presta bene ad un'estrazione per escavazione



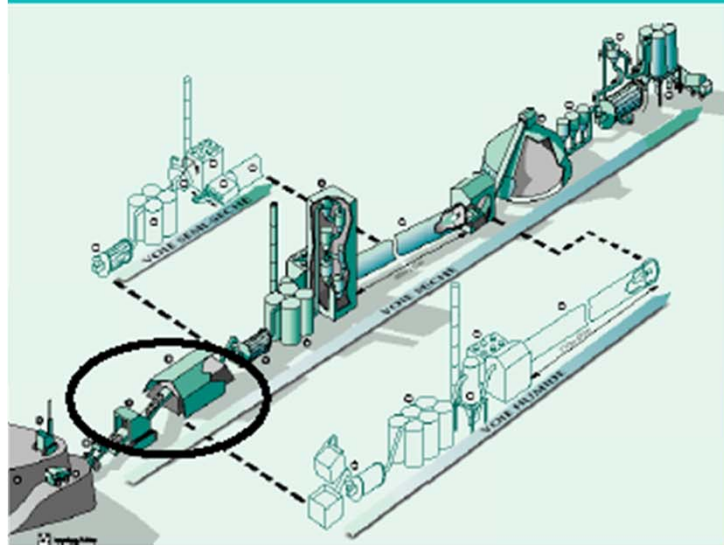
ABBATTIMENTO

Cava di calcare



MACINAZIONE

Riduzione dei blocchi di calcare e argilla in aggregati di dimensioni 0- 40 mm



Un concasseur peut fournir entre 500 à 1000 tonnes de cru à l'heure.

L'équivalent de 30 semi-remorques.



PRE-OMOGENEIZZAZIONE

La pre-omogeneizzazione è indispensabile laddove i prodotti di cava siano poco omogenei. Si depositano degli strati orizzontali dei diversi materiali, poi li si riprende in senso verticale

I materiali premiscelati sono oggetto di un continuo campionamento e di molte analisi. Vengono poi diretti, tramite nastro trasportatore, verso l'impianto di macinazione della miscela cruda



PREPARAZIONE DEL CRUDO

L'impianto di macinazione del crudo riduce le materie prime in farina molto fine, con dimensioni dei granelli inferiori ai $160\ \mu\text{m}$

L'impianto effettua contemporaneamente anche l'essiccazione (le materie prime possiedono un contenuto in acqua che può arrivare al 7%)

I molini del crudo sono di due tipi:

- Molini a sfere
- Molini a piste e rulli

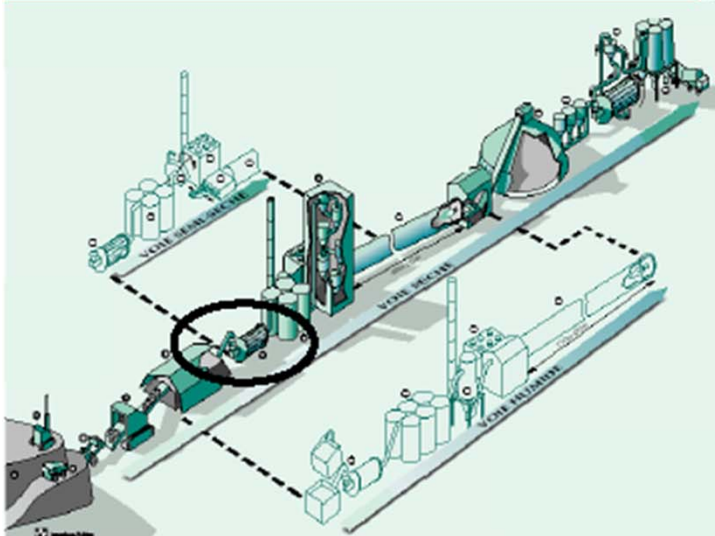


La farina

**La miscela è ridotta in farina
(inf. A 200 micron)**

Un broyeur réduit de 200 à 400 tonnes de mélange à l'heure.

En fonction de l'analyse chimique, il y a possibilité d'ajout de calcaire, sable pour corriger le crû.



PREPARAZIONE DEL CRUDO

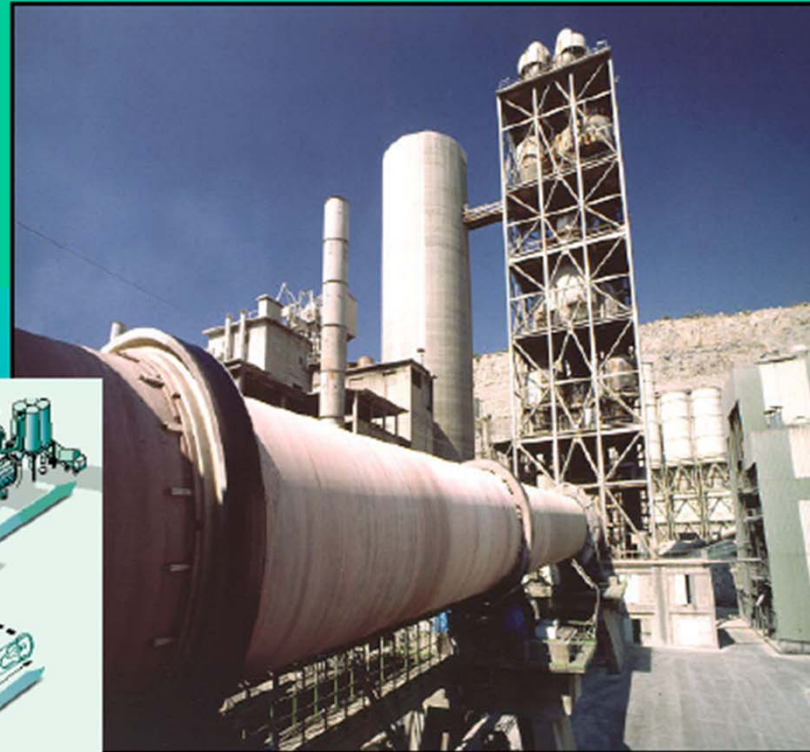
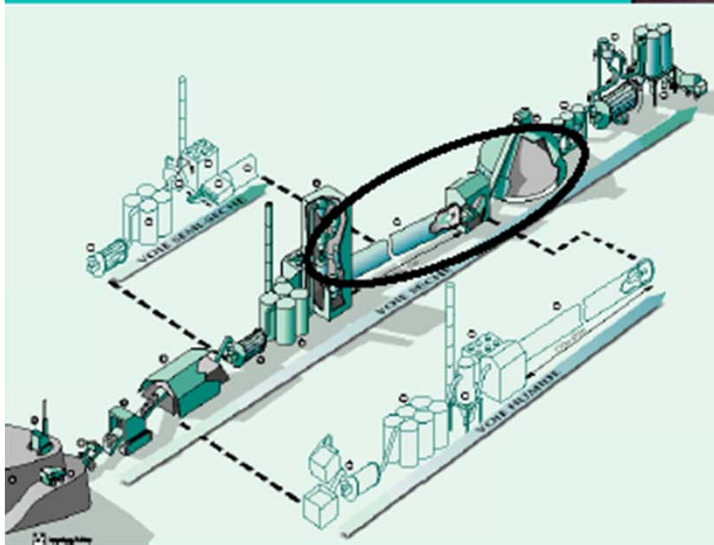
Nei processi per via secca, la farina finemente macinata viene inviata a dei silos di grande capacità (dell'ordine delle 3000 tonnellate).

Uno dei silos è in riempimento, ed il sistema informatico aggiusta in continuo la sua composizione, in funzione dei risultati delle analisi effettuate sui campioni prelevati in uscita al molino. L'altro, nel frattempo, è in svuotamento verso il forno.



LO SCAMBIO TERMICO ED IL FORNO

Lo scambio termico
permette di far aumentare
la temperatura della farina
per facilitarne la cottura



COTTURA: TORRE DI SCAMBIATORI

La farina proveniente dai sili di omogeneizzazione subisce un riscaldamento progressivo, nel corso del quale si produce uno scambio di calore tra il materiale in entrata ed i gas caldi in uscita dal forno. Una torre di scambiatori è composta da 4 a 5 stadi di cicloni



COTTURA: TORRE DI SCAMBIATORI

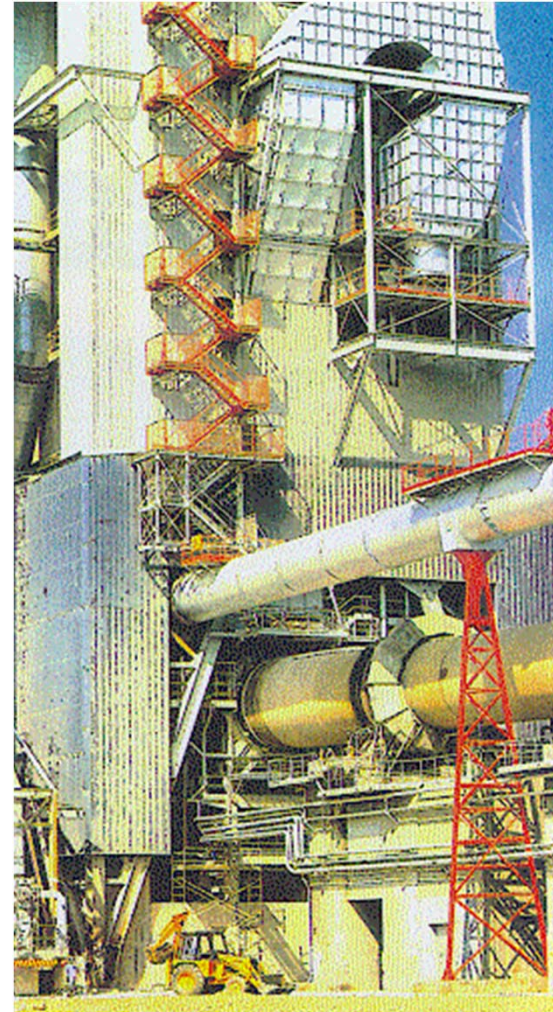
Nei cicloni, il materiale segue un tragitto elicoidale, in controcorrente ai gas caldi

Nel corso del suo passaggio nella torre, la temperatura del crudo passa, progressivamente, da 100 °C a 900 °C circa

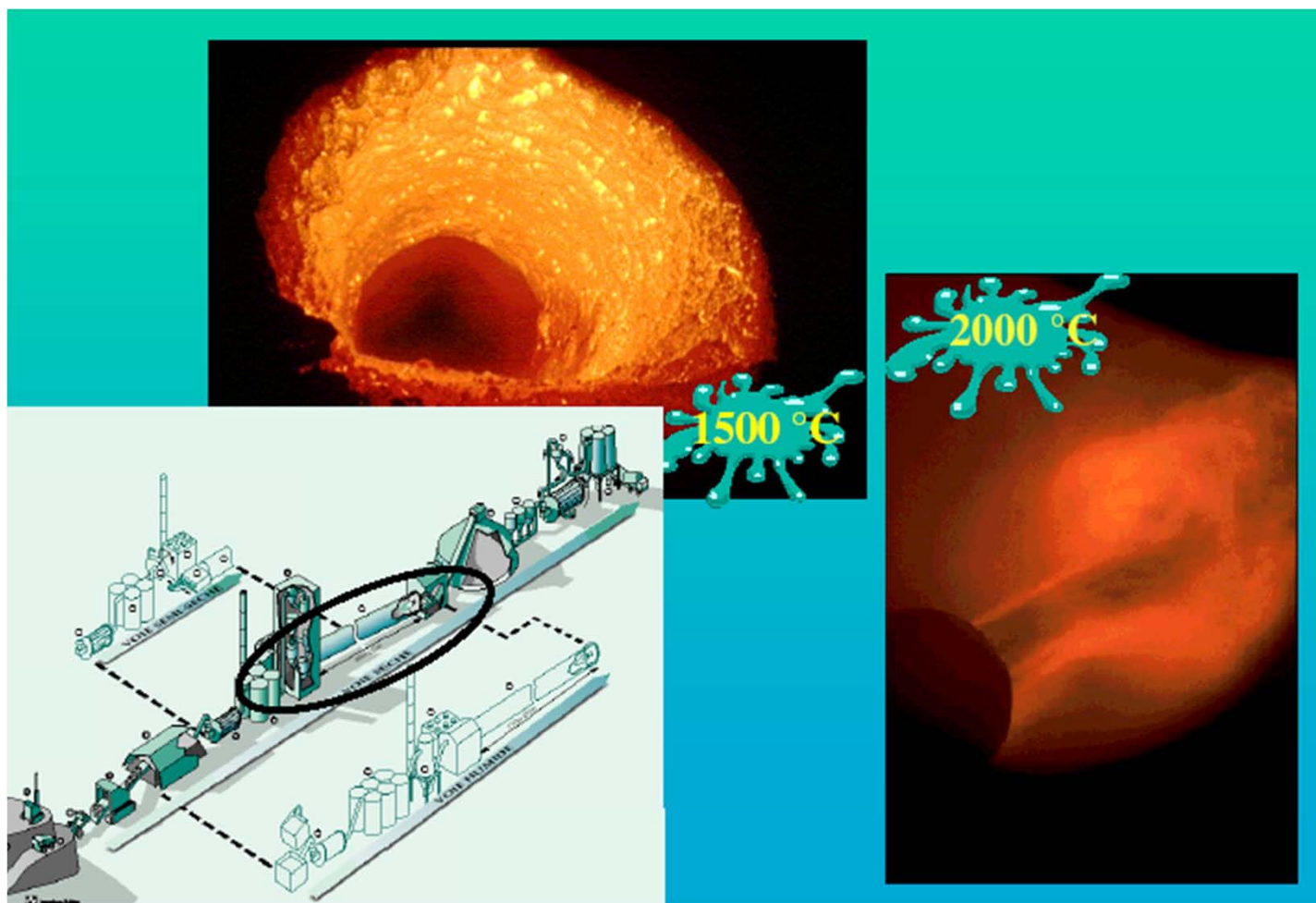


COTTURA: PRE-CALCINAZIONE

In un'installazione moderna, prima del suo passaggio nell'ultimo ciclone, la farina passa per uno stadio di pre-calcinazione che serve ad ottimizzare lo scambio di calore tra il materiale ed i gas caldi, ed a completare la decarbonatazione del calcare, che avviene verso i 900 °C. Circa il 60% del combustibile può essere consumato in questo stadio, in quanto la decarbonatazione è un processo estremamente endotermico

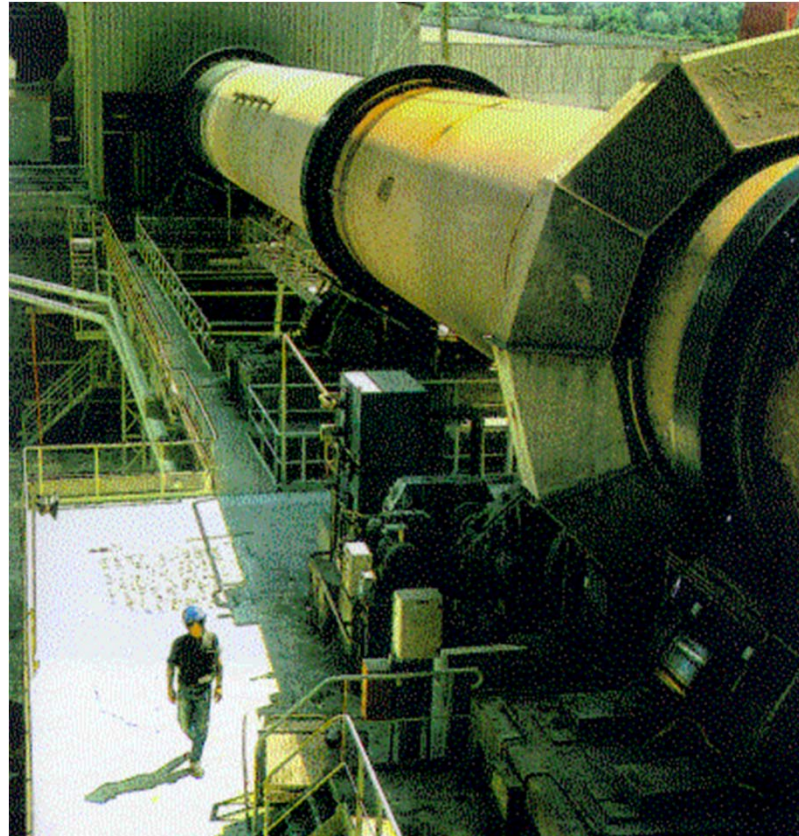


LA COTTURA



COTTURA: FORNO

Il forno è costituito da un tubo di diversi metri di diametro, leggermente inclinato sul suo asse



COTTURA: FORNO

La farina avanza all'interno del forno scivolando e rotolando lungo le pareti interne, che sono ricoperte di mattoni refrattari. Si agglomera verso i 1300 °C per formare dei noduli, in seguito alla fusione parziale dei suoi costituenti

La temperatura massima raggiunta nel corso della clinkerizzazione si aggira attorno ai 1450 °C

COTTURA: FORNO

L'usura dei refrattari costituisce una parte non indifferente dei costi di fabbricazione

La posa dei mattoni viene effettuata da squadre di operai specializzati, e necessita di un arresto della produzione di più di una settimana

COTTURA: ZONA DI COTTURA

Solamente uno specialista è in grado di distinguere le sottili variazioni nell'aspetto del clinker e della fiamma di un forno rotativo, per diagnosticarne il funzionamento



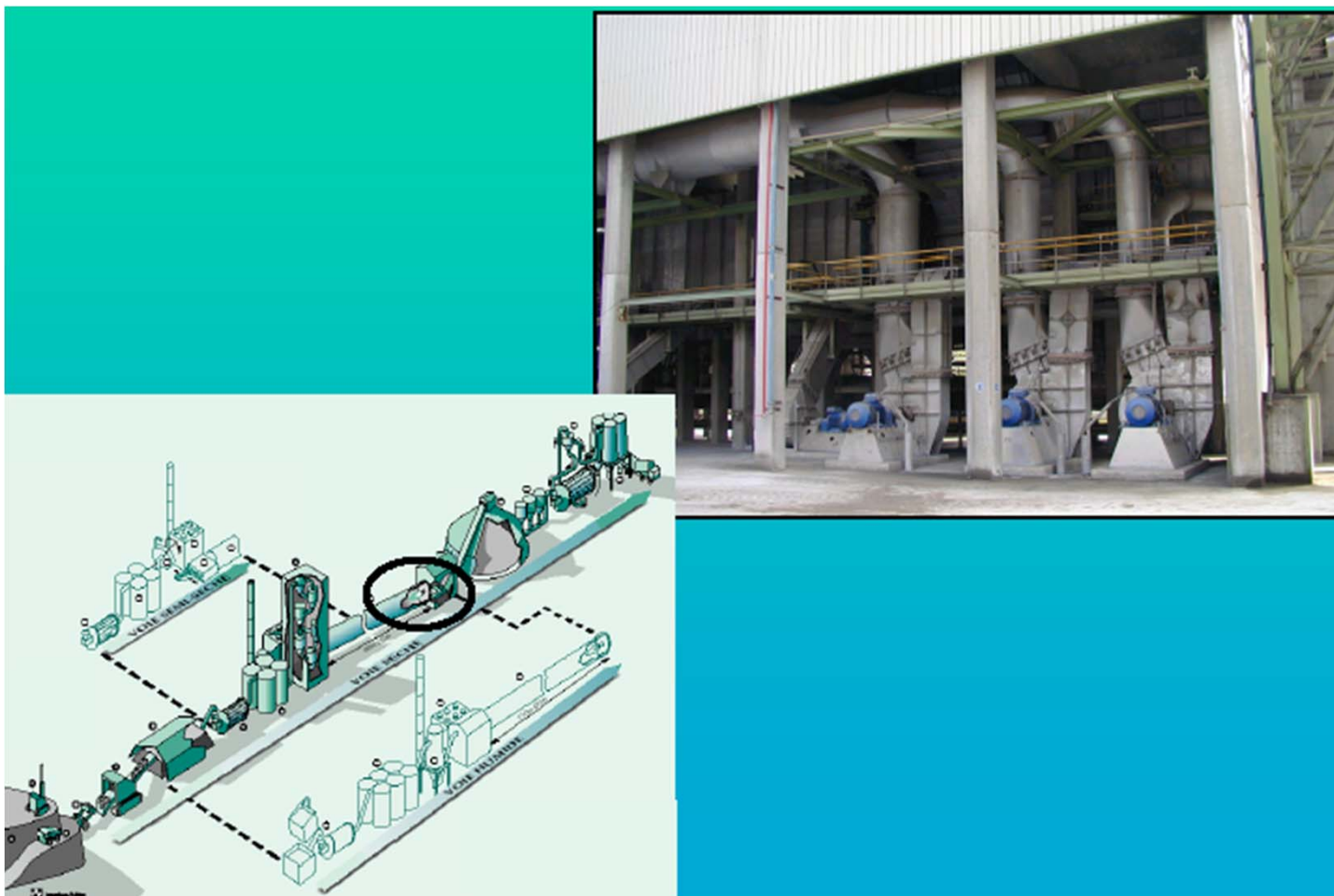
Questo ruolo viene oggi svolto da sistemi esperti che gestiscono l'insieme dei sensori e degli attuatori della sezione di cottura clinker, consentendo di ottimizzare la regolazione del consumo di combustibile, d'aria, di farina iniettata all'ingresso del forno

COTTURA: ZONA DI COTTURA

La fiamma viene generata da una tubiera molto sofisticata, nella quale i diversi combustibili vengono mescolati all'aria primaria ad una velocità supersonica.

La riduzione del consumo di combustibile e la diversificazione nel tipo di combustibili utilizzati sono due dei principali obiettivi per l'industria del cemento

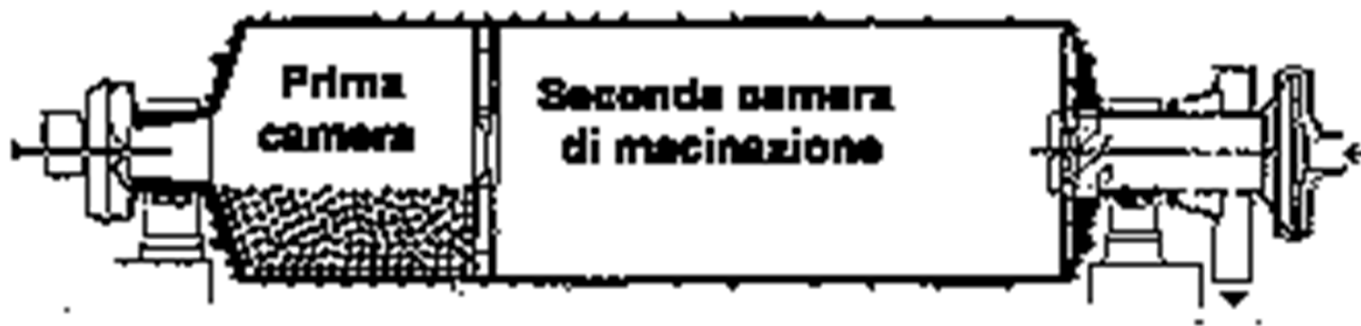
IL RAFFREDDAMENTO



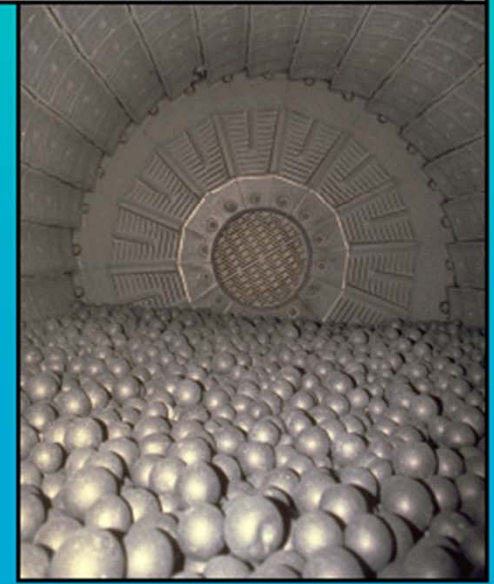
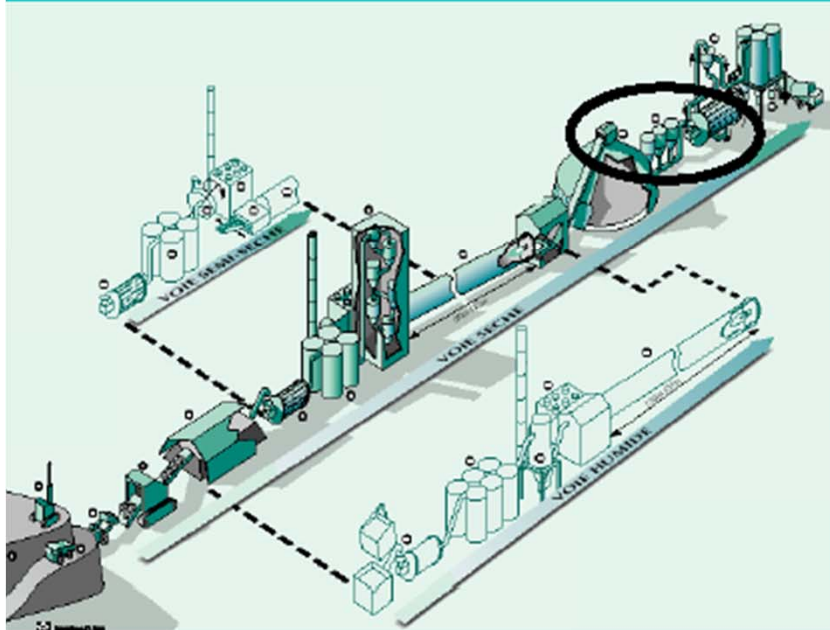
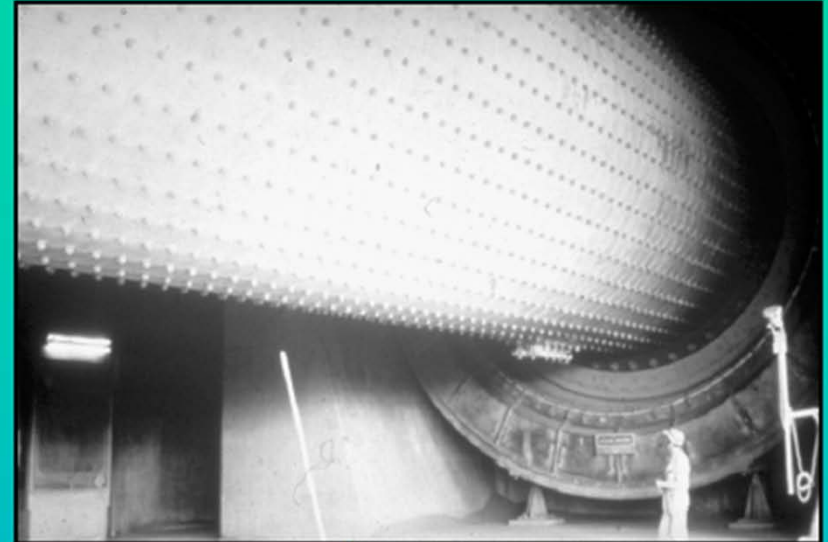
MACINAZIONE CEMENTO

Nei tradizionali molini a sfere, il clinker e le aggiunte minerali (gesso, loppa d'altoforno, ceneri volanti, fillers) passano attraverso due (o tre) camere contenenti corpi macinanti di diverso diametro, separate da griglie.

- Nella prima camera, la miscela viene sgrossata
- Nella seconda camera, viene macinata alla finezza desiderata



LA MACINAZIONE

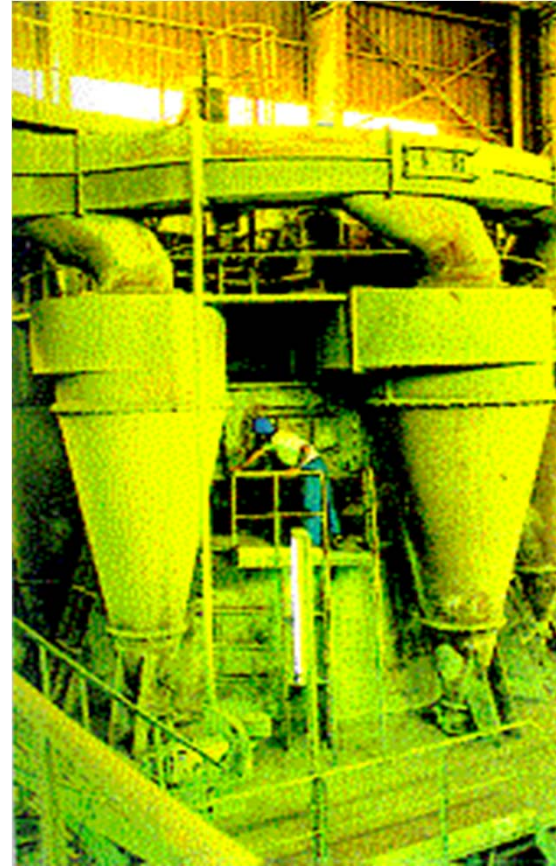


SEPARATORE

Il prodotto in uscita dal molino viene raccolto da un elevatore a tazze ed inviato ad un separatore dinamico.

In esso, il prodotto viene portato in sospensione in una corrente d'aria, la cui velocità è dimensionata in modo tale da portare in sospensione solo le particelle della grandezza desiderata.

Le particelle di dimensioni maggiori vengono automaticamente riciclate verso il molino

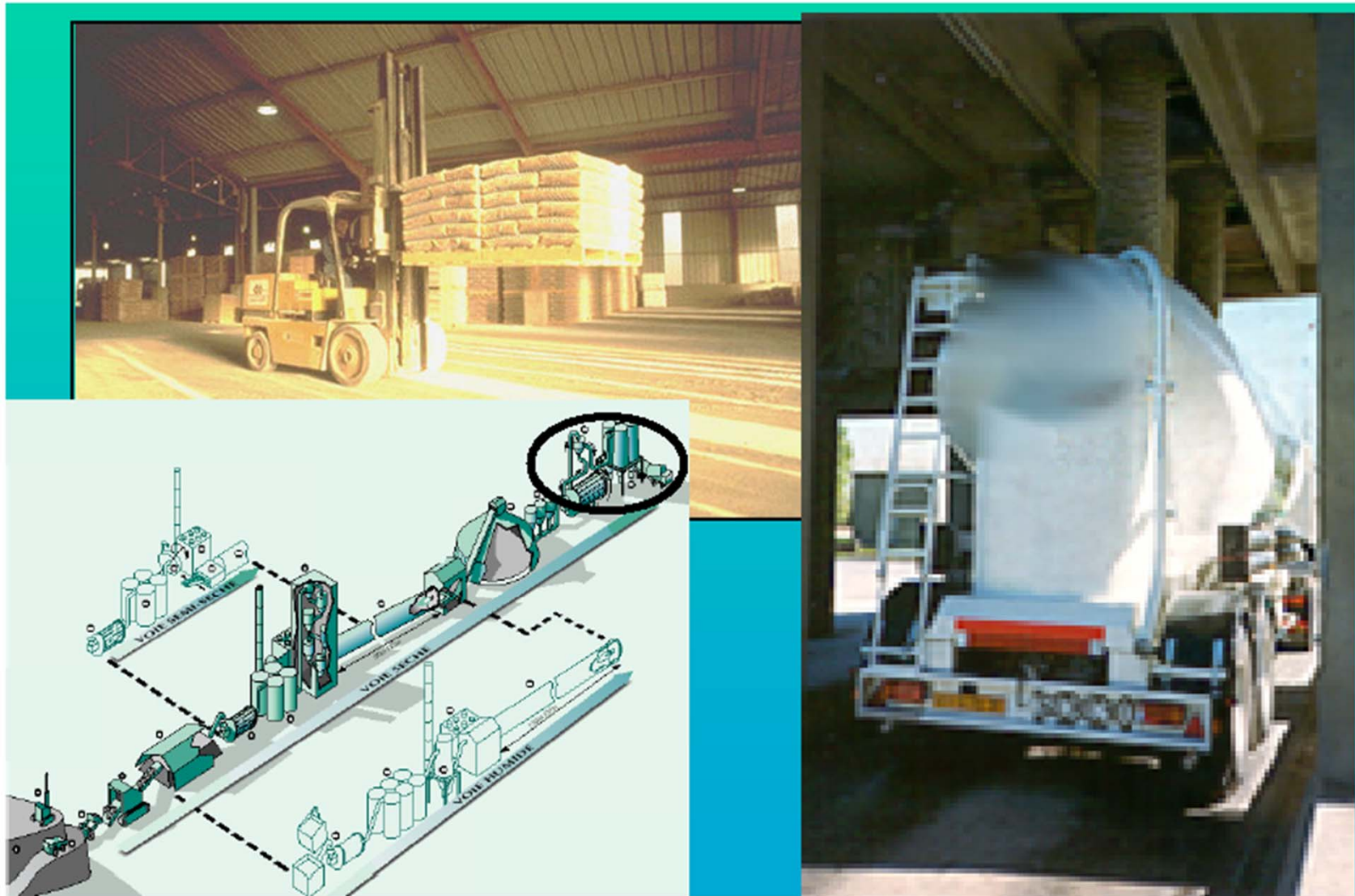


STOCCAGGIO

A partire dallo stesso clinker vengono prodotte molte diverse qualità di cemento. Una cementeria possiede dunque diversi silos di stoccaggio, per una capacità complessiva di alcune decine di migliaia di tonnellate



INSACCAMENTO



La normativa

Cementi EN 197-1

Tipi e composizioni (Norma Europea EN 197 - 1)

I	Cementi portland	Ammettono al massimo sino al 5% di altri componenti oltre al gesso
II	Cementi Portland alla loppa	Prendono il nome dal materiale che viene aggiunto e che impartisce caratteristiche particolari. Il limite dell'aggiunta è fissato dalle norme di diversi paesi entro il 6 ed il 35 %
	Cementi Portland alla pozzolana	
	Cementi Portland alla silca fume	
	Cementi Portland alle ceneri volanti	
	Cementi Portland allo scisto calcinato	
	Cementi Portland al calcare	
	Cementi Portland Compositi	
III	Cemento d'alto forno	In cui la loppa d'alto forno entra dal 36 al 95%
IV	Cementi pozzolanici	Contengono dall'11 al 55 % di materiali pozzolanici e devono rispondere al saggio di pozzolanicità
V	Cemento composito	Contiene sia loppa che pozzolana in misura del 18 ÷ 50 %

Cementi EN 197-1

Table 1: Cement types and composition: Proportion by mass ¹⁾

Main cement type	Designation	Notation	Main constituents										Minor additional constituents	
			Clinker K	Blast-furnace slag S	Silica fume Q ²⁾	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale T	Limestone			
						natural P	artificial Q	siliceous V	calcar. W		L	LL		
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland-slag cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-silica fume cement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-pozzolana cement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Portland-burnt shale cement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Portland-limestone cement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	6-20	0-5
		CEM II/B-L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	21-35	0-5
Portland-composite cement ³⁾	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5		
	CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5		
CEM III	Blastfurnace cement	CEM III/A	35-64	35-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Pozzolanic cement ²⁾	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5	
CEM V	Composite cement ²⁾	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-39	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5	

1) The values of the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

2) The proportion of silica fume is limited to 10%.

3) In Portland-composite cements CEM II/A-M and CEM II/B-M, in Pozzolanic cements CEM IV/A and CEM IV/B and in Composite cements CEM V/A and CEM V/B the nature and kind of the main constituents besides clinker shall be declared by designation of the cement (for example see clause 8).

Cementi

EN 197-1

TIPO

NATURA DEL
COSTITUENTE
SECONDARIO

RESISTENZA
ALLE BREVI
SCADENZE

CEM II /A-L 32,5 R

CLASSE DI
COMPOSIZIO
NE

CLASSE DI
RESISTENZA

S	LOPPA	V	CV SILICEA
D	SILICA FUME	W	CV CALCICA
P	POZZOLANA NAT	T	SCISTO CALCINATO
Q	POZZOLANA INDST	L	CALCARE

Cementi EN 197-1

Valori caratteristici delle proprietà chimiche Norma Europea EN 197 - 1

Prospetto III - Requisiti chimici

1	2	3	4	5
Proprietà	Prova secondo	Tipo di cemento	Classe di resistenza	Requisiti 1)
Perdita al fuoco	EN 196-2	CEM I CEM III	tutte le classi	≤ 5,0%
Residuo insolubile	EN 196-2	CEM I CEM III	tutte le classi	≤ 5,0%
Solfati (come SO ₃)	EN 196-2	CEM I CEM II ²⁾	32,5 32,5 R 42,5	≤ 3,5%
		CEM IV CEM V	42,5 R 52,5 52,5 R	≤ 4,0%
		CEM III ³⁾	tutte le classi	
Cloruri	EN 196-21	tutti i tipi ⁴⁾	tutte le classi	≤ 0,10%
Pozzolanicità	EN 196-5	CEM IV	tutte le classi	esito positivo della prova

1) I requisiti sono espressi come percentuale in massa.
 2) Quest'indicazione comprende i cementi tipo CEM II/A e CEM II/B, ivi compresi i cementi Portland composti contenenti solo un altro componente principale, per esempio II/A-S o II/B-V, salvo il tipo CEM II/B-T che può contenere fino al 4,5% di SO₃, per tutte le classi di resistenza.
 3) Il cemento tipo CEM III/C può contenere fino al 4,5% di SO₃.
 4) Il cemento tipo CEM III può contenere più dello 0,10% di cloruri ma in tal caso si dovrà dichiarare il contenuto effettivo in cloruri.

Cementi

Requisiti chimici

REQUISITO	LIMITE FISSATO	NOTE
SO ₃	massimo	E' indispensabile per regolare la presa ma l'eccesso può provocare fenomeni di espansione
MgO	massimo	L'eccesso può provocare fenomeni di espansione
Perdita al fuoco	massimo	Il limite è posto per i cementi che devono contenere solo costituenti privi di perdita al fuoco (clinker, loppe)
Residuo insolubile	massimo	Il limite è posto per i cementi che devono contenere costituenti solubili in acido (clinker, loppe)
Cloro	massimo	Il limite viene posto per evitare aggressioni alle armature
Na ₂ O equivalente	massimo	Il limite viene posto quando i cementi Portland devono venire usati con aggregati soggetti al fenomeno di reazione alcali-aggregati
C ₃ S	massimo	Limiti posti per i cementi resistenti al dilavamento
C ₃ A C ₃ A + C ₄ AF	massimo	Limiti posti per cementi resistenti ai solfati
Fe ₂ O ₃	massimo	Limite posto per cementi bianchi
Saggio di pozzolanicità	-	Serve a controllare le reazioni tra pozzolana e calce d'idrolisi

Cementi EN 197-1

Table 2: Mechanical and physical requirements given as characteristic values

Strength class	Compressive strength MPa				Initial setting time min	Expansion mm
	Early strength		Standard strength			
	2 days	7 days	28 days			
32,5	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	≥ 75	≤ 10
32,5 R	$\geq 10,0$	-				
42,5	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	≥ 60	
42,5 R	$\geq 20,0$	-				
52,5	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5$	-	≥ 45	
52,5 R	$\geq 30,0$	-				

Cementi

Requisiti fisici

Requisiti	Limite fissato	Note
Tempo di inizio presa	Min.	Un tempo corto di presa pregiudica la messa in opera
Prova falsa presa	Min.	Controlla il fenomeno di presa del gesso disidratato che può influire negativamente sulla reologia.
Espansione (stabilità)	Max	Controlla il limite possibile di espansione dovuto a calce non combinata. Quando eseguito in autoclave controlla fenomeni di idratazione espansivi dell'MgO
Finezza	Min.	Per evitare cemento troppo grossolano
Calore di idratazione	Max	Per impieghi di opere massive al fine di evitare surriscaldamenti
Colore	Min.	Per cementi bianchi

Cementi

I cementi comuni normalizzati, pur nella loro diversità di tipologie e nell'accentuazione, in funzione del tipo, di determinate caratteristiche reologiche, meccaniche, hanno un'elevata intercambiabilità a parità di classe di resistenza.

La Tab. 4, che riporta la caratteristiche di malte e calcestruzzi a base di diversi tipi di cemento, conferma questa affermazione.

Infatti, calcestruzzi ben proporzionati basati su cementi che comprendono diversi tipi, mostrano variazioni molto limitate di lavorabilità e di resistenza

La stessa considerazione emerge se si osservano i valori di un'altra importante proprietà, come il ritiro igrometrico, riportato nella Tab. 5

Cementi

RESISTENZE MECCANICHE IN MALTA PLASTICA ED IN CALCESTRUZZO DI CEMENTI DI TIPO E CLASSE DIFFERENTI

CALCESTRUZZI DOSATI 350 Kg/m³ A/C = 0.6

PROVE SU MALTA		I 42.5	II/A L 42.5	IV 42.5	I 32.5	II/A L 32.5	II/B L 32.5	III/A 32.5	IV/A 32.5
Campioni	n.	6	9	3	8	9	6	5	5
P.A.F.	%	4.0	7.4	-	4.4	7.4	10.5	-	-
Spandimento	%	112.2	98.4	84.7	105.2	100.3	99.7	103.0	90.4
Acqua su pasta	%	27.1	27.7	31.9	26.0	25.5	25.8	28.0	29.6
RESISTENZE A COMPRESSIONE M.P.									
1 gg	N/mm ²	-	-	16.3	-	-	-	-	-
2 gg	N/mm ²	-	25.7	-	15.0	18.9	15.4	-	14.0
3 gg	N/mm ²	27.6	-	29.6	-	-	-	-	-
7 gg	N/mm ²	36.8	39.0	39.0	27.3	30.8	28.6	24.0	24.7
28gg	N/mm ²	49.7	48.5	53.1	38.4	40.0	37.0	41.0	37.3
PROVE N CLS									
Cedimento al cono	cm	15.3	18.8	11.3	15.4	18.2	17.8	15.5	14.5
RESISTENZE A COMPRESSIONE									
1 gg	N/mm ²	10.3	11.4	10.9	4.8	7.0	6.2	-	4.7
2 gg	N/mm ²	15.6	16.3	-	10.2	11.6	10.5	9.6	8.0
3 gg	N/mm ²	-	-	16.0	-	-	-	-	10.1
7 gg	N/mm ²	25.0	24.7	22.2	18.2	20.7	17.9	16.8	15.4
28 gg	N/mm ²	34.1	32.1	31.1	27.2	27.6	24.6	27.8	25.1

Cementi

Tab. 5: Tipici valori di ritiro di campioni di malta ($\mu\text{m}/\text{m}$)

CEMENTO	STAGIONATURA				
	1 giorno	3 giorni	7 giorni	28 giorni	90 giorni
CEM I 32.5	61	202	427	755	890
CEM I 42.5	58	188	396	733	873
CEM I 52.5	115	270	453	842	1043
CEM III 42.5	30	150	270	550	731
CEM IV 32.5	52	167	428	784	943
CEM IV 42.5	158	196	420	743	915

L'idratazione

REOLOGIA DEGLI IMPASTI

La messa in opera degli impasti cementizi necessita di un tempo sufficientemente lungo durante il quale essi rimangono fluidi.

Questo risultato viene ottenuto grazie a:

- aggiunta di gesso
- naturale periodo di induzione che caratterizza l'idratazione dei silicati di calcio

REOLOGIA DEGLI IMPASTI

Aggiunta di gesso

In presenza di solfato di calcio la reazione di idratazione del C_3A e del C_4AF è fortemente frenata.

La spiegazione dell'azione di controllo della presa svolta dal gesso si basa sulla formazione di uno strato protettivo di solfoalluminati di calcio idrati.

REOLOGIA DEGLI IMPASTI

Prova dell'ago di Vicat

Con questa prova vengono rilevati mediante penetrazione nella pasta di un ago cilindrico (sezione 1 mm^2 e caricato di un peso di 300 g) i tempi in corrispondenza dei quali la pasta di cemento assume due determinate consistenze.

- Quella di inizio presa si ha quando l'ago non è in grado di penetrare tutta l'altezza della pasta (40 mm) ma si arresta a 3 mm dal fondo.
- Quella di fine presa corrisponde ad una penetrazione di solo 0.5 mm .

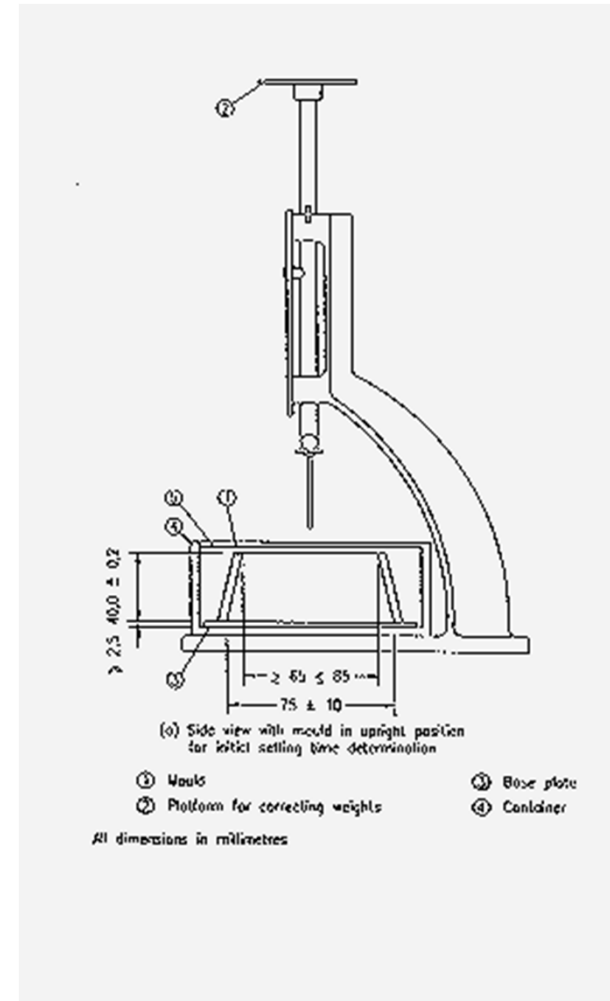
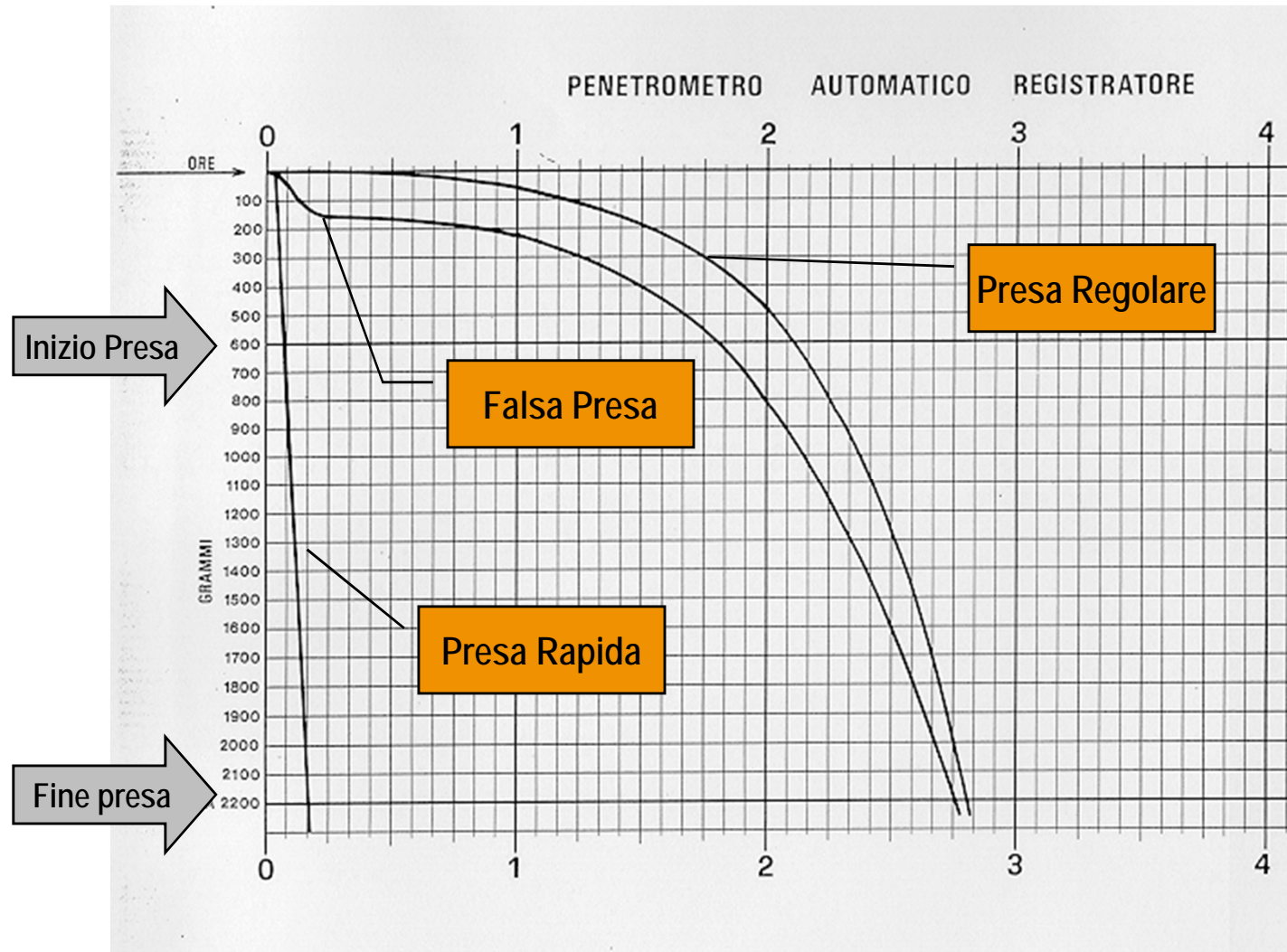


GRAFICO PENETROMETRO



REGOLAZIONE DELLA PRESA

Cause:

Presa rapida: dovuta ad un'alta velocità di idratazione degli alluminati e ferriti con formazione di AFm, nel caso in cui il gesso sia presente ma non sufficiente per formare AFt, o C_4AH_{13} in assenza di gesso. Tali cristalli di forma esagonale piatta ostacolano i normali moti visco-plastici di una pasta di cemento.

Falsa presa: si ottiene nel caso in cui il solfato di calcio sia velocemente disponibile in soluzione. Tale gesso secondario ri-cristallizza sottoforma di cristalli aciculari che bloccano la fluidità del sistema. Nel caso in cui si riagiti l'impasto si ridiscioglie ed agisce da normale regolatore di presa.

Cementi compositi

La Norma EN 197-1 prevede la possibilità di formulare cementi compositi.

Tali cementi: Tipo II, III, IV e V sono ottenuti per comacinazione o macinazione separata di clinker, gesso e aggiunte minerali (maggiori del 5% in peso) di diversa natura.



pozzolane
loppe
calcare
silica fume
ceneri volanti
scisti calcinati

Cementi compositi

Tali tipologie di cementi presentano notevoli vantaggi in termini di:

- Migliore durabilità delle strutture.
- Controllo della lavorabilità.
- Equilibrio ambientale.
- Risparmio sociale

IDRATAZIONE E PROPRIETA' MECCANICHE

La resistenza meccanica delle paste, malte e calcestruzzi, cioè la resistenza alla deformazione sotto l'azione e di sforzi meccanici, unita alla facilità d'impiego, giustifica l'ampio uso del cemento nell'industria delle costruzioni.

Principali variabili

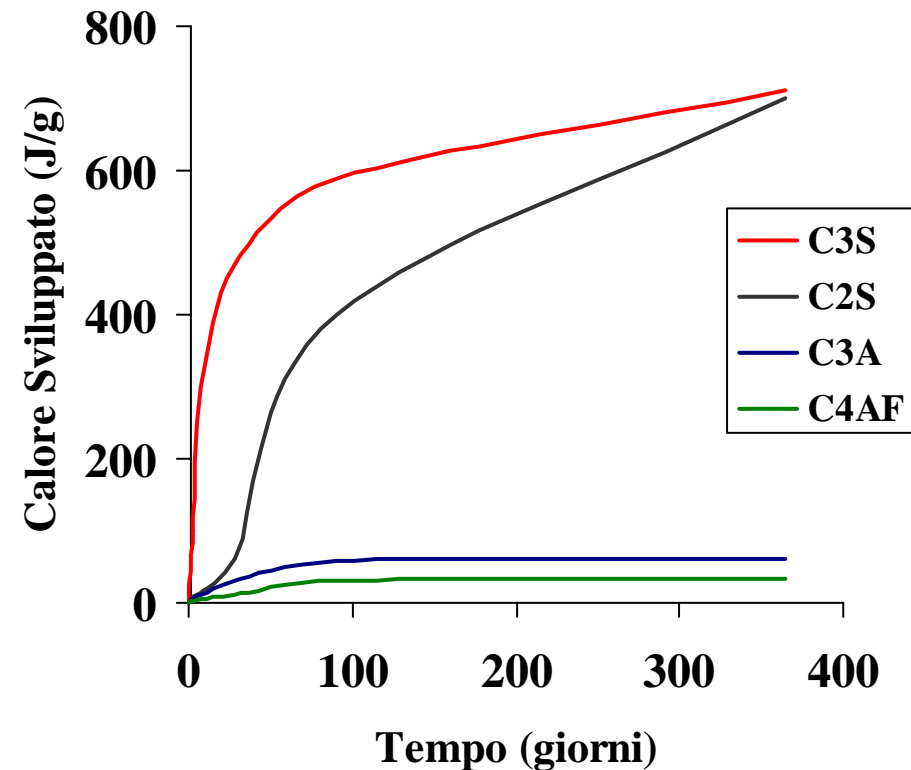
- ↪ composizione del clinker e del cemento
- ↪ finezza del cemento
- ↪ durata della stagionatura
- ↪ rapporto acqua/cemento
- ↪ rapporto cemento/aggregato
- ↪ temperature

IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Composizione mineralogica

L'effetto della composizione mineralogica e' deducibile dal grafico che mostra le resistenze sviluppate dai costituenti del clinker.

Si osserva che il maggior contributo e' dato dai silicati. Quello degli alluminati e' molto limitato.



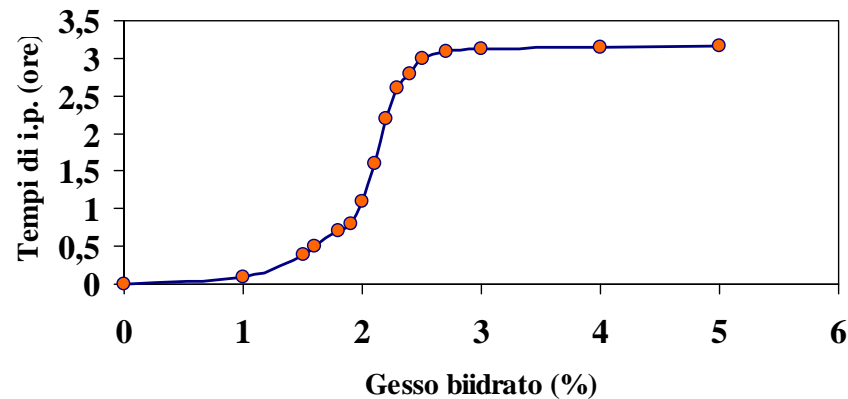
IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Optimum di gesso

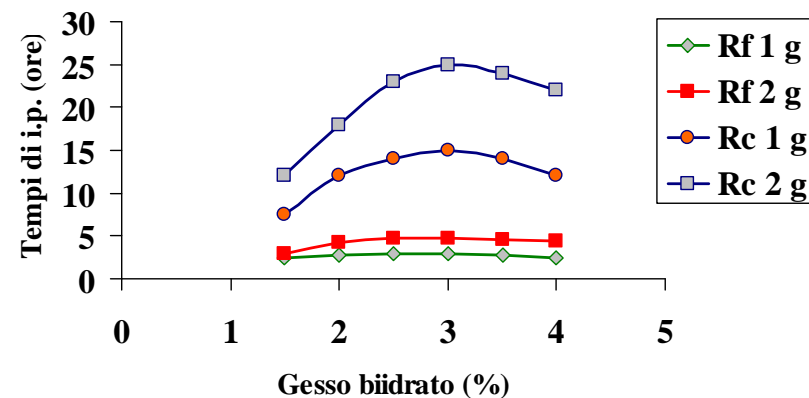
Il gesso aggiunto al clinker in fase di macinazione controlla non solo il tempo di presa, ma modifica alcune proprietà della pasta indurita quali la resistenza, il ritiro, la resistenza all'aggressione solfatica e il calore di idratazione.

Tutte queste proprietà rappresentano i valori ottimali in corrispondenza di determinati dosaggi di gesso.

**Influenza del contenuto di gesso
sull'inizio presa VICAT**



**Influenza del contenuto di gesso su Rc e
Rf malta normale**



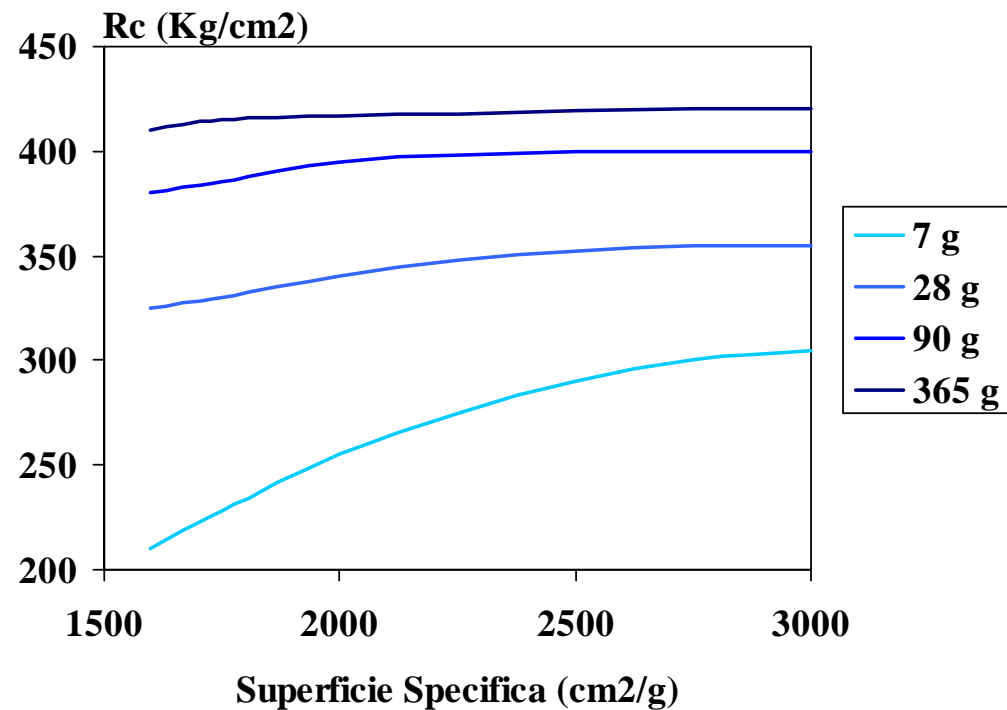
IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Finezza di macinazione

Aumentare la finezza del cemento significa aumentare la superficie esposta all'azione dell'acqua e quindi accelerare il processo d'indurimento.

Si può osservare che questo parametro influenza principalmente la velocità d'incremento delle resistenze e in minor misura le resistenze finali.

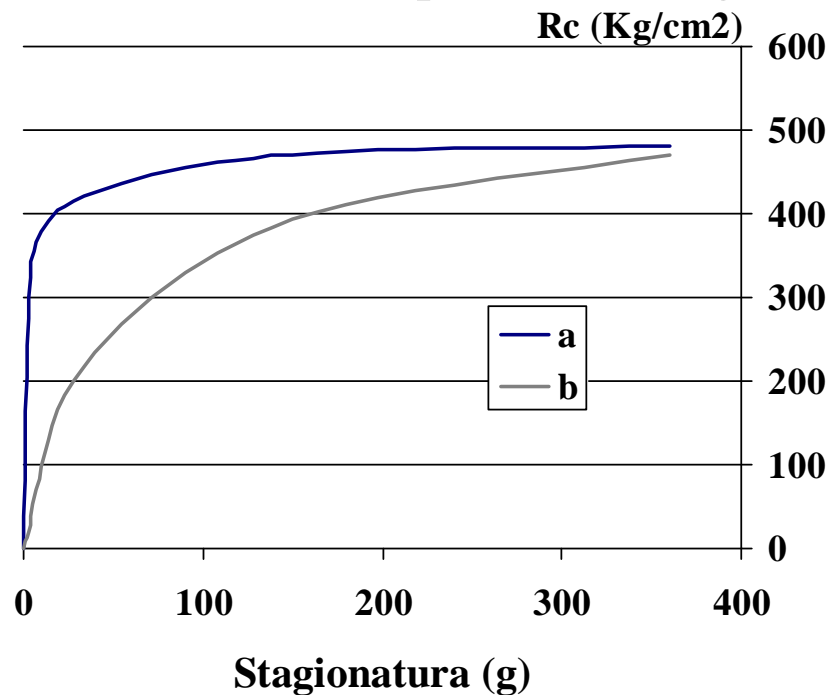
Quindi i cementi a rapido indurimento hanno finezza superiore a quella dei cementi ordinari.



IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Tempo di stagionatura

Lo sviluppo delle resistenze in funzione del tempo segue curve asintotiche come quelle delle figure sotto riportate.



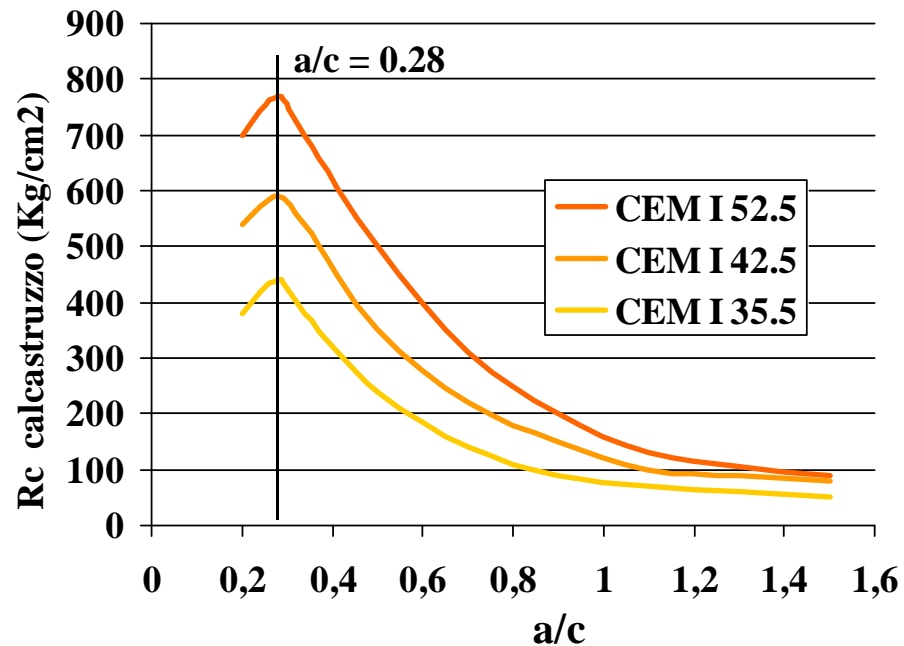
Prove in malta 1:3:
a: 70 % C3S e 10% C2S
b: 30 % C3S e 50 C2S

All'inizio la crescita della resistenza e' molto rapida in seguito diventa progressivamente più lento.

IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Rapporto a/c

La resistenza meccanica (compressione) varia in funzione del rapporto acqua/cemento come illustrato nella figura.



L'aspetto negativo dell'acqua va spiegato con il fatto che per una completa idratazione del cemento è sufficiente un rapporto a/c di 0.28. L'eccesso d'acqua rimane intrappolato nella matrice idratata del cemento dando luogo ad una diffusa porosità capillare. I pori capillari riducono la sezione resistente dell'impasto cementizio.

Il rapporto a/c usato in pratica dipende dal dosaggio in cemento, granulometria degli aggregati, il metodo di messa in opera e da molti altri fattori

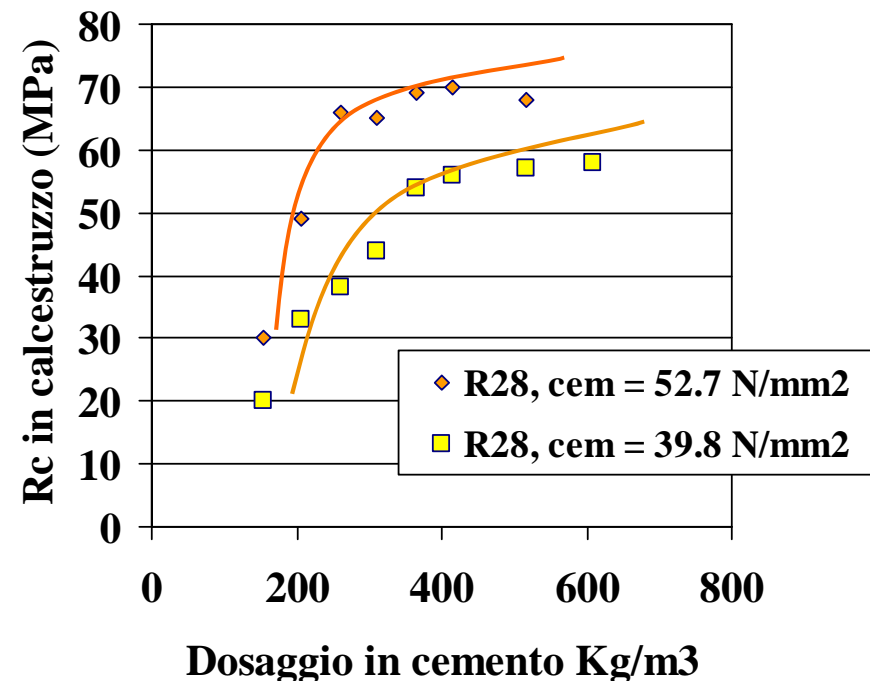
IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Dosaggio di cemento

La resistenza del calcestruzzo ordinario aumenta entro certi limiti con l'aumentare del dosaggio di cemento e cioè con l'aumentare del rapporto cemento aggregato.

Tuttavia essa rimane inferiore a quelle delle paste (> 100 Mpa) e dell'aggregato (>250 Mpa).

Ciò dipende dal fatto che l'adesione tra pasta ed aggregato è minore della coesione interna della pasta e dell'aggregato.



IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

Temperatura di stagionatura

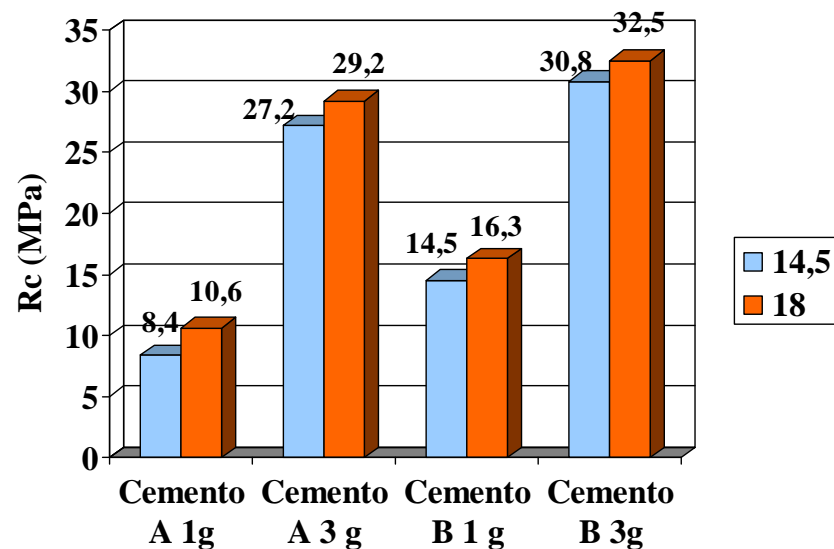
Nell'idratazione del cemento la temperatura gioca un ruolo sia cinetico che termodinamico:

- Cinetico poiché influenza la velocità delle reazioni chimiche tra l'acqua e costituenti
- Termodinamico poiché modifica il decorso delle reazioni cambiano la natura dei prodotti idrati (60°C è considerato un limite oltre il quale si modificano chimicamente i prodotti d'idratazione).

IDRATAZIONE E PROPRIETÀ MECCANICHE

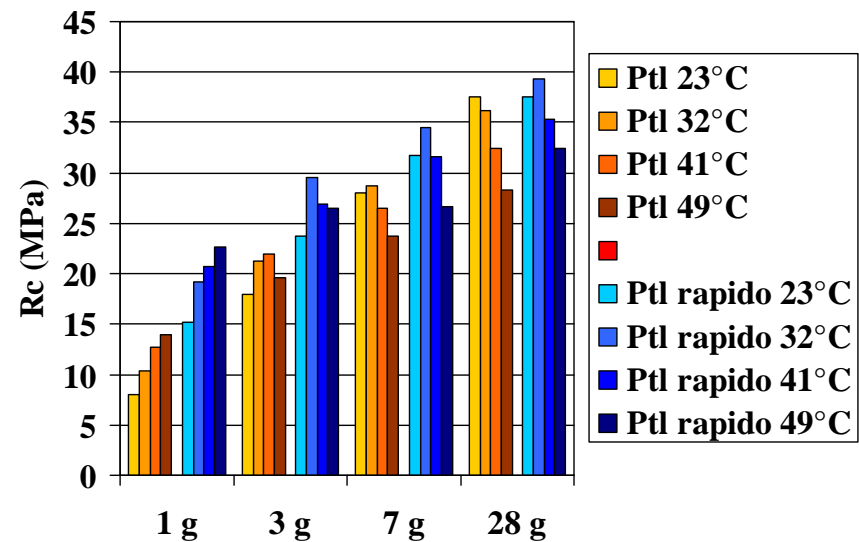
Temperatura di stagionatura

Piccole variazioni di temperatura determinano variazioni di comportamento meccanico RC



Prove in malta normale

Aumentando la temperatura si ottengono migliori comportamenti alle brevi scadenze, mentre la situazione si inverte alle lunghe scadenze.



Prove in calcestruzzo:

310 Kg/m³ di cemento; a/c ptl = 0.45

a/c ptl rapido = 0.49

MICROSTRUTTURA

I prodotti d'idratazione del cemento si presentano come una massa dotata di una caratteristica microporosità.

L'elevata microporosità e quindi la grande superficie specifica sono le caratteristiche che hanno fatto assimilare i prodotti idrati (CSH) ai gel colloidali, di qui il nome di gel cementizio.

MICROSTRUTTURA

Porosità

La distribuzione della porosità di una pasta mostra due zone caratteristiche:

✓ La prima comprende pori aventi un raggio dell'ordine dei nanometri. **Porosità del gel**

✓ La seconda interessa pori con raggi di decime e centinaia di nanometri. **Porosità capillare**

MICROSTRUTTURA

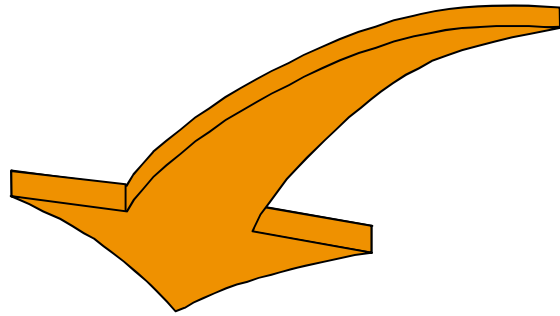
La dimensione dei pori si riduce con il procedere della stagionatura, spostandosi verso raggi più piccoli.

Ciò corrisponde al fenomeno di riempimento e segmentazione progressiva dei pori capillari.

La porosità capillare dipende dal rapporto a/c e dalla stagionatura.

MICROSTRUTTURA

Importanti proprietà degli impasti induriti quali:



Resistenza meccanica
Resistenza agli agenti aggressivi
Deformazione volumetrica sotto carico
Ritiro termo-igrometrico

Dipendono dalla struttura porosa della pasta cementizia