



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA**

**Corso di**

**FONDAMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI**

# **IL MATERIALE E LA TECNOLOGIA DEL CEMENTO ARMATO**

**Docente: Prof. Ing. Angelo MASI**

**Collaboratori: Ing. Giuseppe SANTARSIERO**

**Ing. Vincenzo MANFREDI**

# IL CALCESTRUZZO ARMATO (C.A.)

---

(in inglese **reinforced concrete**; in francese **béton armé**)

Calcestruzzo di cemento +

Acciaio (da c.a.) =

---

CALCESTRUZZO ARMATO

(propriamente indicato con **conglomerato cementizio armato** ma comunemente chiamato **cemento armato**)

## PREGI

- Facilità di esecuzione  
(*costo ridotto*)
- Lavorabilità e monoliticità
- Elevata durabilità  
(*resistenza agli agenti atmosferici*)
- Buona resistenza al fuoco

## DIFETTI

- Elevato peso di volume  
( $\approx 2500\text{kg/mc}$ )
- Dilatazioni termiche elevate,  
fenomeni di ritiro

## IL CALCESTRUZZO

## L'ACCIAIO

### CARATTERISTICHE

- Materiale **artificiale di tipo lapideo** (si ottiene mescolando in dosi opportune degli inerti naturali con acqua e cemento)
- **Buona resistenza a compressione** (tipicamente 25÷35 MPa)
- **Protegge le barre di armatura dalla corrosione** (ambiente basico)

### DIFETTI

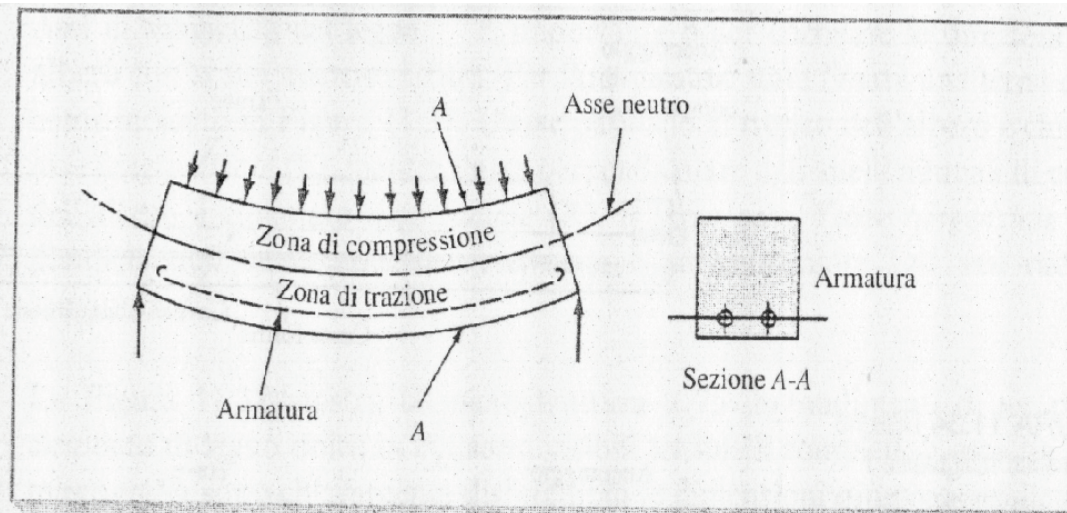
- materiale **non omogeneo**
- **scarsa resistenza a trazione**
- **materiale a comportamento fragile**
- **resistenza molto legata alle fase di esecuzione**

- Materiale **omogeneo**
- **Elevata resistenza sia a compressione sia a trazione** (tipicamente 400-500 MPa)
- **materiale a comportamento duttile**

- **costo elevato**
- **sensibilità alla corrosione**

# IL CALCESTRUZZO ARMATO

- **Gli sforzi di trazione** (es. quelli derivanti dal momento flettente) sono affidati esclusivamente **all'acciaio**
- **Gli sforzi di compressione** sono principalmente affidati al **calcestruzzo** (ma anche all'acciaio)



La collaborazione resistente **cls + acciaio** è possibile poiché:

- hanno un valore pressoché coincidente del coefficiente di dilatazione termica ( $\approx 0.00001 \text{ mm/C}^\circ$ );
- si realizza un'elevata aderenza chimico-fisica tra acciaio e cls

# LA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

La miscela di cls è realizzata con i seguenti componenti:

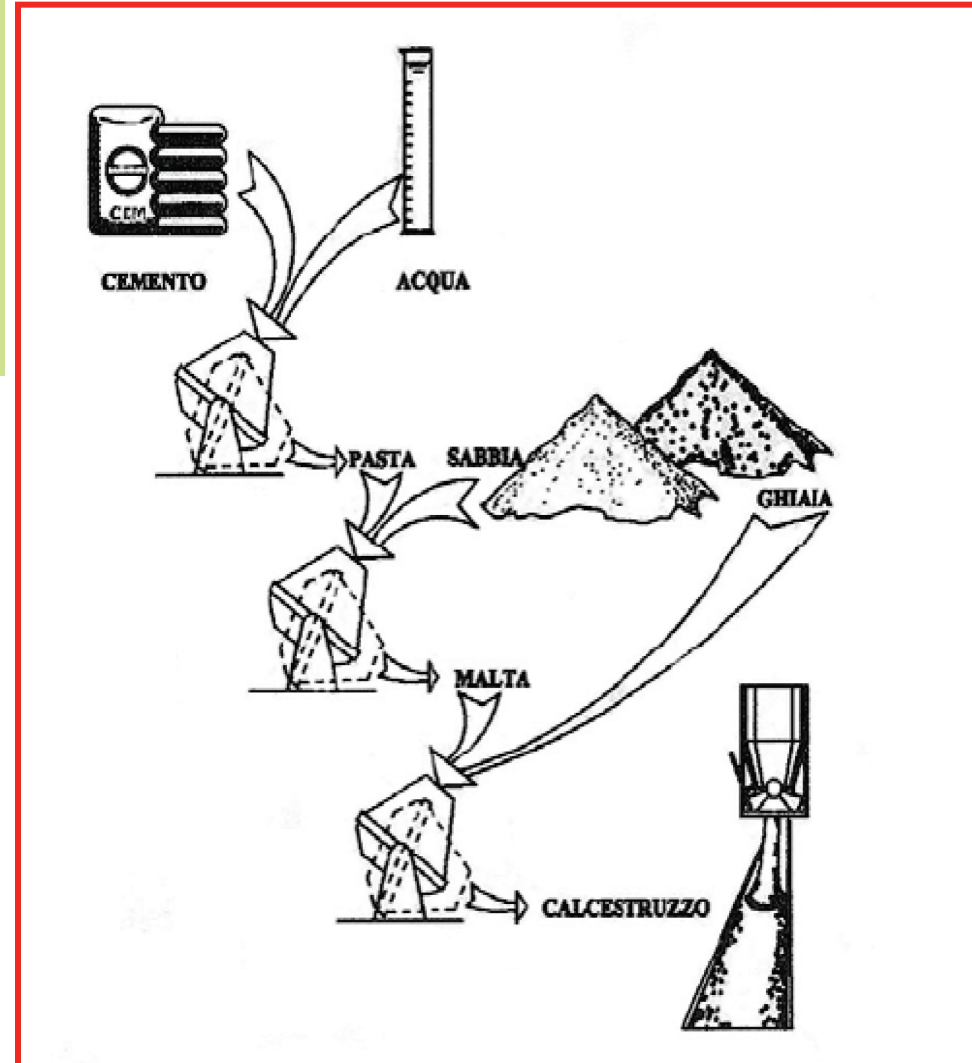
- **Inerti** (scheletro del cls);
- **Cemento** (legante)
- **Acqua**
- **Additivi** (eventuali)

Combinando i diversi componenti si ottiene:

Acqua + cemento = **pasta di cemento**

Pasta di cemento + sabbia = **malta**

Malta + ghiaia/pietrisco = **calcestruzzo**



# LA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

---

## IL CEMENTO (legante idraulico)

Il **cemento** (di tipo Portland) si ottiene dalla macinazione di una miscela di **calcare** ed **argilla** cotta ad elevate temperature (*clinker*).

Reagendo con l'acqua (*reazione esotermica*) si osservano i fenomeni di **presa** ed **indurimento**.

In funzione della composizione del clinker e della finezza della macinazione si hanno diversi tipi di cemento (*D.M. 3/6/1968*):

- Normali R325
- Ad alta resistenza R425
- Ad alta resistenza e rapido indurimento R525
- A basso calore di idratazione R225 (es. per sbarramenti di ritenuta)
- Cemento alluminoso

# LA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

---

## GLI INERTI

Formano lo **scheletro** del calcestruzzo e costituiscono il 60-80% del volume. In funzione delle dimensioni dei granuli si hanno:

- **Inerti a grana fine** (*sabbia*, granuli fino a 5mm)
- **Inerti a grana grossa** (*ghiaia o pietrisco*, particelle fino a 50mm).

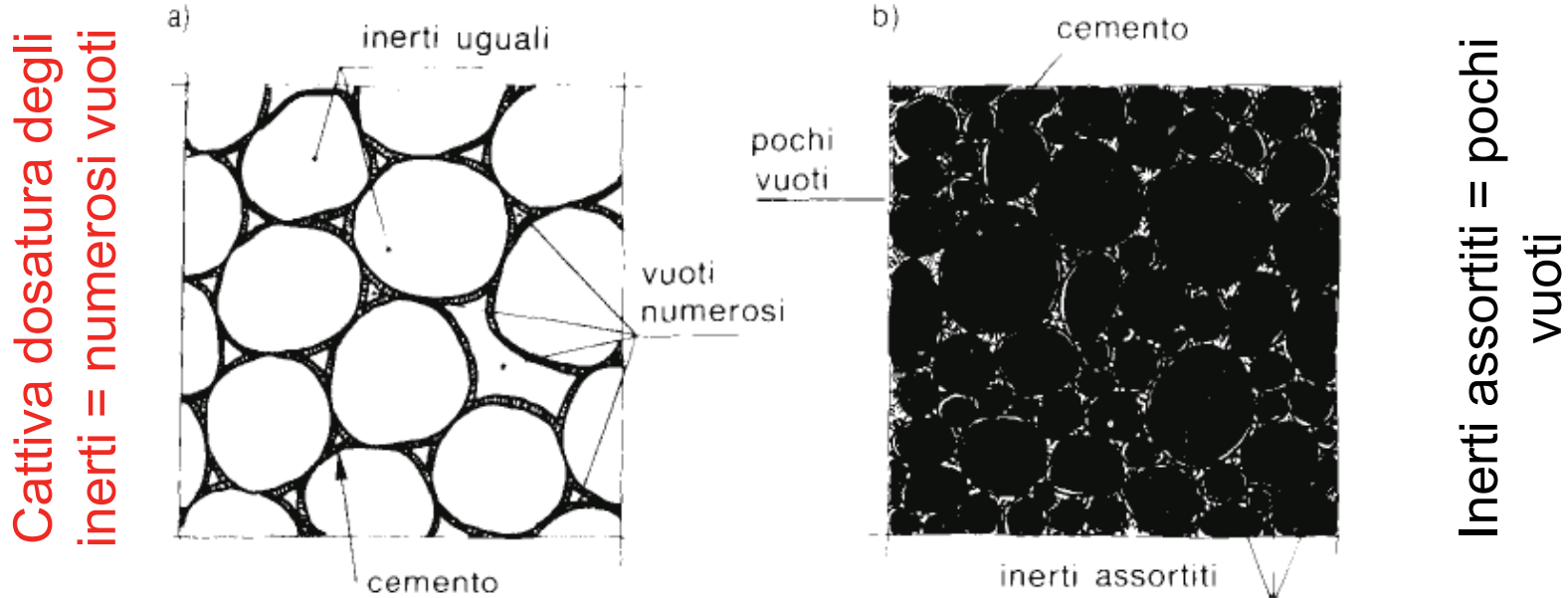
La **sabbia** utilizzata è quella estratta dai letti di fiumi o dalle cave. La sabbia di mare non può essere utilizzata perché contiene sostanze (es. cloruri) che favoriscono la corrosione.

Gli **inerti grossi** sono prodotti dalla frantumazione di rocce (pietrisco) oppure hanno origine naturale (ghiaia presa ad es. da fiumi).

Per ottenere un buon calcestruzzo è fondamentale che la miscela di inerti abbia una corretta composizione e granulometria (*pezzatura*)

# LA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

Per ottenere una **buona compattezza** (=buona qualità) del cls è necessario un adeguato **assortimento granulometrico** in modo da ridurre al minimo i vuoti



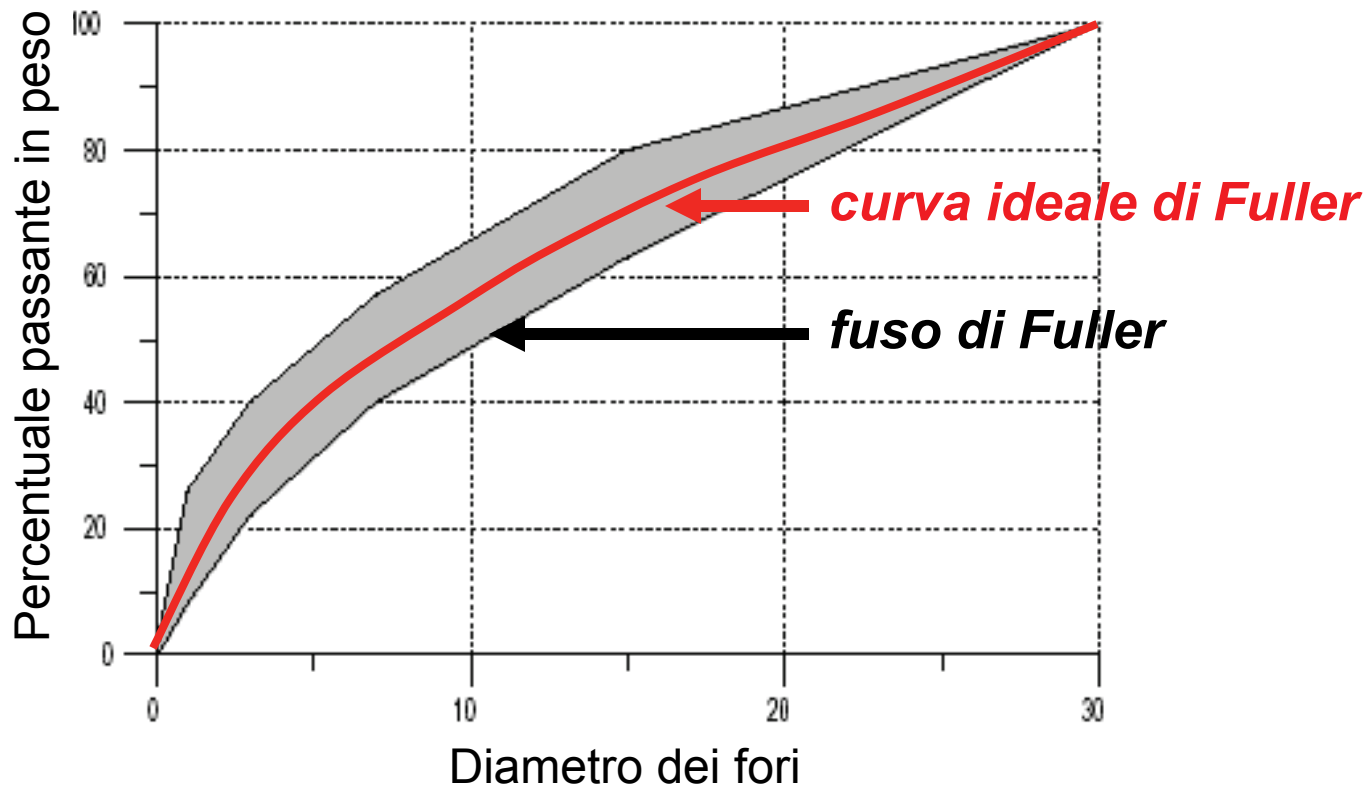
## Possibili problemi derivanti da una granulometria non adeguata:

- 1) Se gli inerti sono in prevalenza composti da granuli molto piccoli (diametro inferiore a mm 10) la quantità di cemento che si impiega per il calcestruzzo non è sufficiente a coprire la superficie degli inerti stessi;
- 2) Se gli inerti sono in prevalenza composti da elementi molto grossi (diametro superiore a 25 mm) sarebbe richiesta una eccessiva quantità di cemento per riempire i vuoti



# IL FUSO GRANULOMETRICO DI FULLER

La curva di Fuller è la curva granulometrica ottimale per gli inerti in quanto determinerebbe il minor livello possibile di vuoti.



Equazione della **curva ideale di Fuller**: 
$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{d_{\max}}}$$

# LA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

---

## ACQUA

Svolge sia la funzione di **idratazione del cemento** sia di consentire la **lavorabilità dell'impasto**.

L'**acqua** da usare nell'impasto deve essere il più possibile **pura**, quando è possibile si consiglia quindi l'uso di acqua potabile.

In particolare devono essere **evitate acque** contenenti percentuali elevate di **solforati** e le acque contenenti **rifiuti di origine organica o chimica**. La presenza di impurità interferisce con la presa, provocando una riduzione della resistenza del conglomerato.

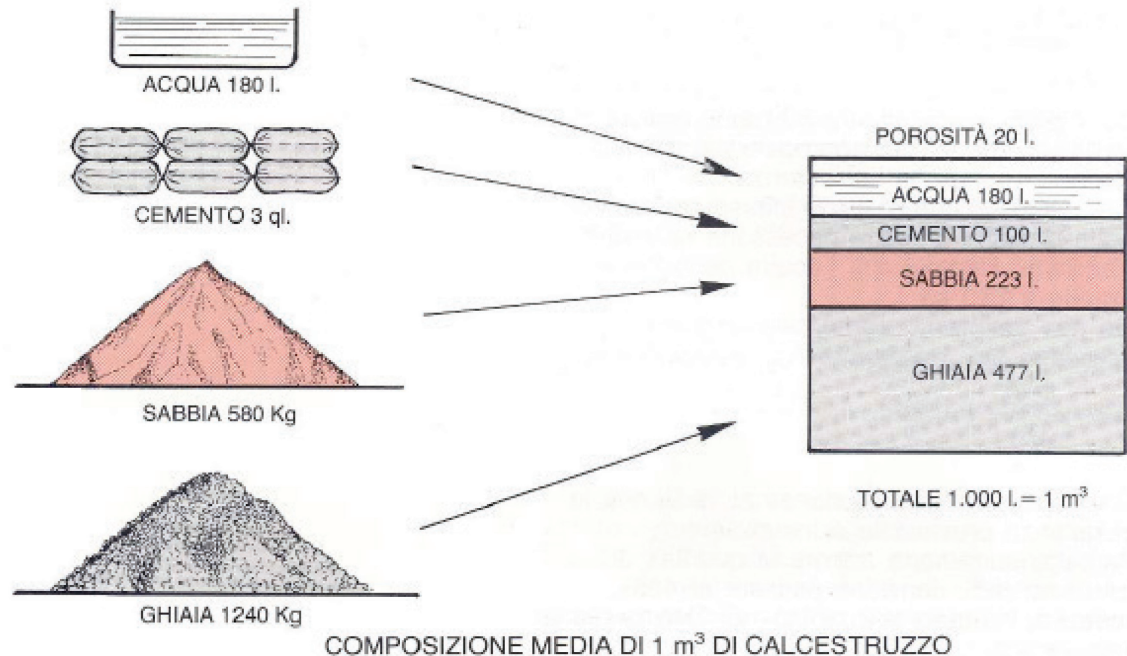
## ADDITIVI

Svolgono importanti azioni al fine agevolare la messa in opera (fluidificanti), ridurre gli effetti del *ritiro*, ecc.

# LA COMPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO

## Composizione media di 1 m<sup>3</sup> di cls

- 0.8mc di inerte grosso (pietrisco e/o ghiaia);
- 0.4mc di inerte fine (sabbia);
- 300kg di cemento
- 120÷150 litri di acqua



Il **peso di volume del calcestruzzo** (non armato) assunto nelle analisi dei carichi è circa **2400kg/mc**

# FATTORI CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA DEL CLS

---

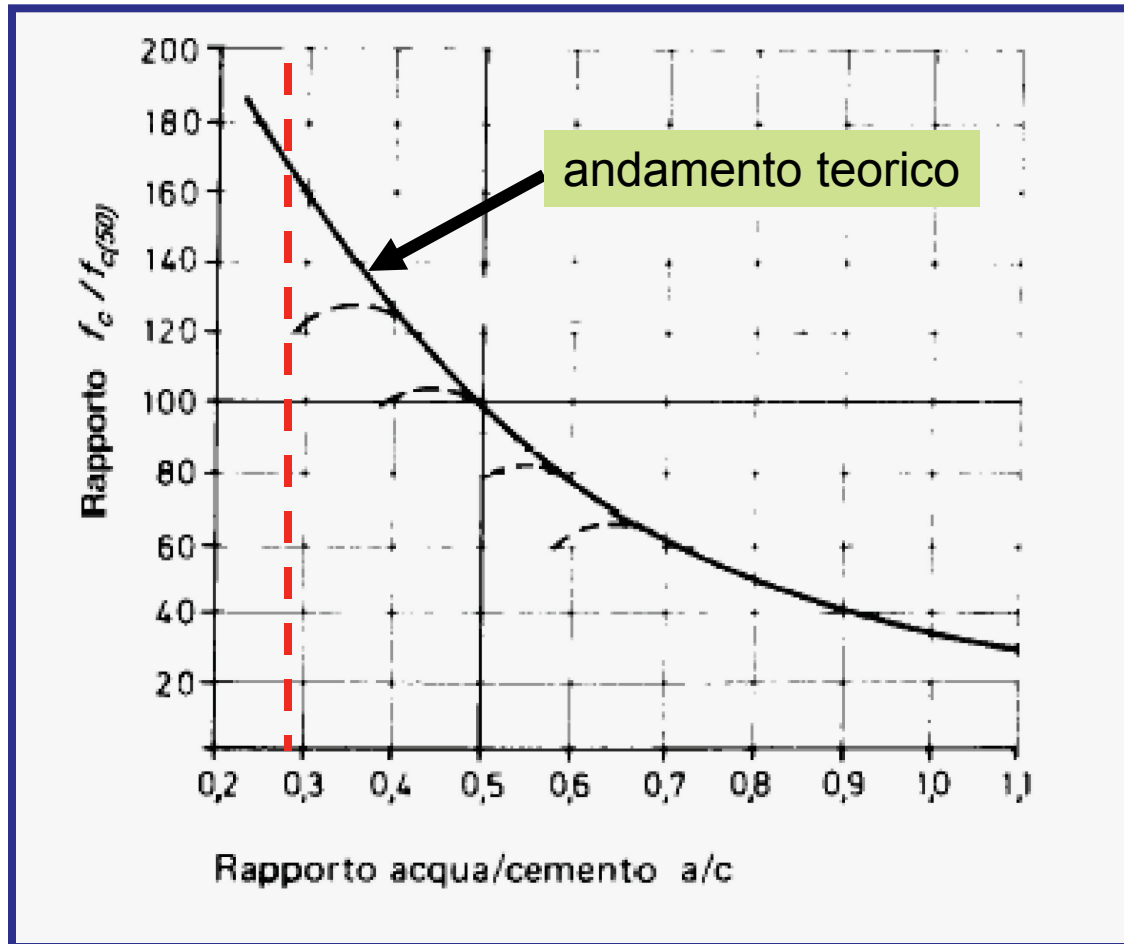
Quantità di cemento. La resistenza del calcestruzzo aumenta quasi proporzionalmente al quantitativo di cemento impiegato.

Inerti. Gli inerti devono essere di buona qualità, puliti e dosati accuratamente. Un buon proporzionamento riduce gli spazi vuoti elevando la compattezza e la resistenza

Il rapporto Acqua/Cemento (A/C). L'eccesso d'acqua determina una rapida riduzione della resistenza del cls. È importante evidenziare che il rapporto A/C strettamente necessario è  $0.28 \div 0.30$  (*rapporto stechiometrico*). È necessario utilizzare maggiori quantitativi di acqua per ottenere una buona lavorabilità. L'eccesso di acqua aumenta il ritiro e può comportare la separazione degli inerti

# FATTORI CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA DEL CLS

## Resistenza del cls in funzione del rapporto A/C



I valori usuali del **rapporto acqua-cemento** per getti in opera sono compresi tra 0.4 e 0.5

# FATTORI CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA DEL CLS

---

Condizioni ambientali di maturazione del cls. La stagionatura risulta favorita se avviene in ambienti umidi. Al contrario il caldo secco è dannoso in quanto, provocando l'evaporazione dell'acqua dagli strati superficiali, impedisce lo sviluppo della presa. Il freddo rallenta la presa; se l'acqua gela, la formazione del ghiaccio interrompe il processo di idratazione e la crescita di volume rompe i legami già formati.

Compattezza del getto. Un buon cls deve presentare una sufficiente compattezza (ovvero una bassa porosità), importante per la protezione delle armature. Essa si ottiene attraverso un opportuno assortimento granulometrico e favorendo in fase di getto il passaggio della pasta di cemento all'interno dei vuoti (*vibrazione del getto*)

# LA POSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO

---

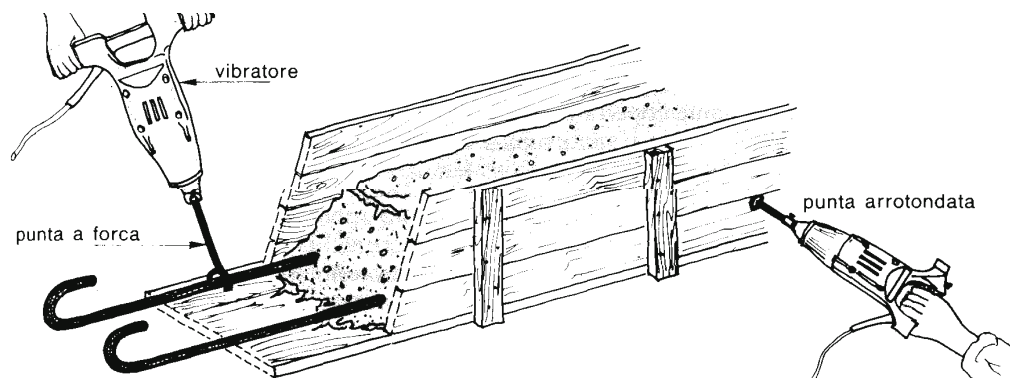
**La vibrazione:** operazione attraverso la quale si ottiene il costipamento del calcestruzzo

Obiettivi:

- massima compattezza (eliminazione dei vuoti);
- migliorare l'aderenza del calcestruzzo alla armatura metallica.

**Tipi di vibratori:**

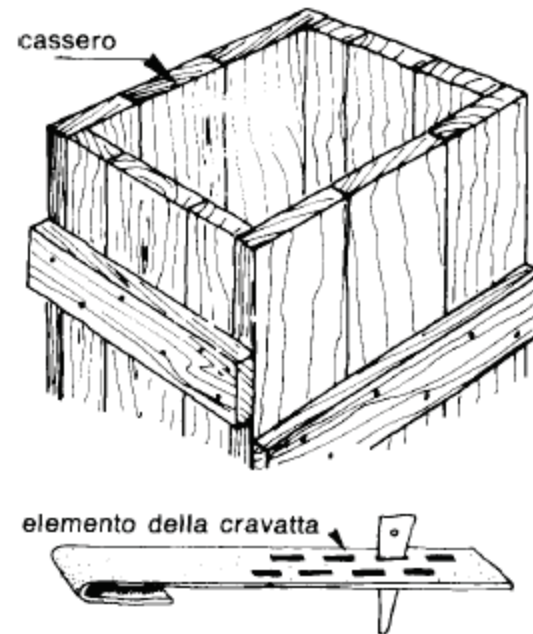
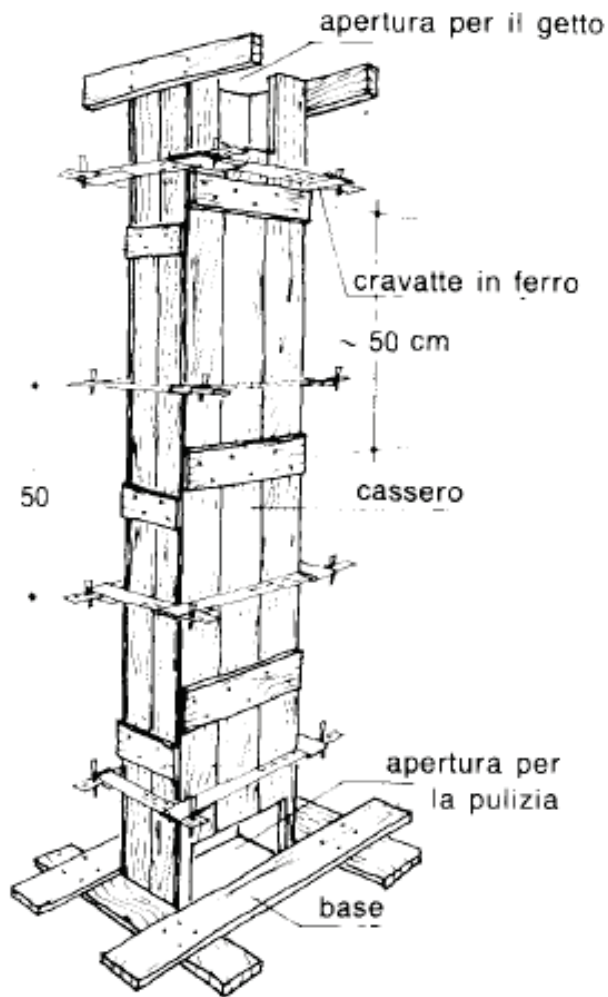
- vibratori interni ad immersione;
- vibratori esterni, che agiscono sulle casseforme;
- vibratori di superfici;
- tavole vibranti



# LA POSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO

**Cassaforma:** struttura di contenimento e di sostegno della massa di cls fluido (non indurito)

**Tipologie:** legno, ferro, plastica



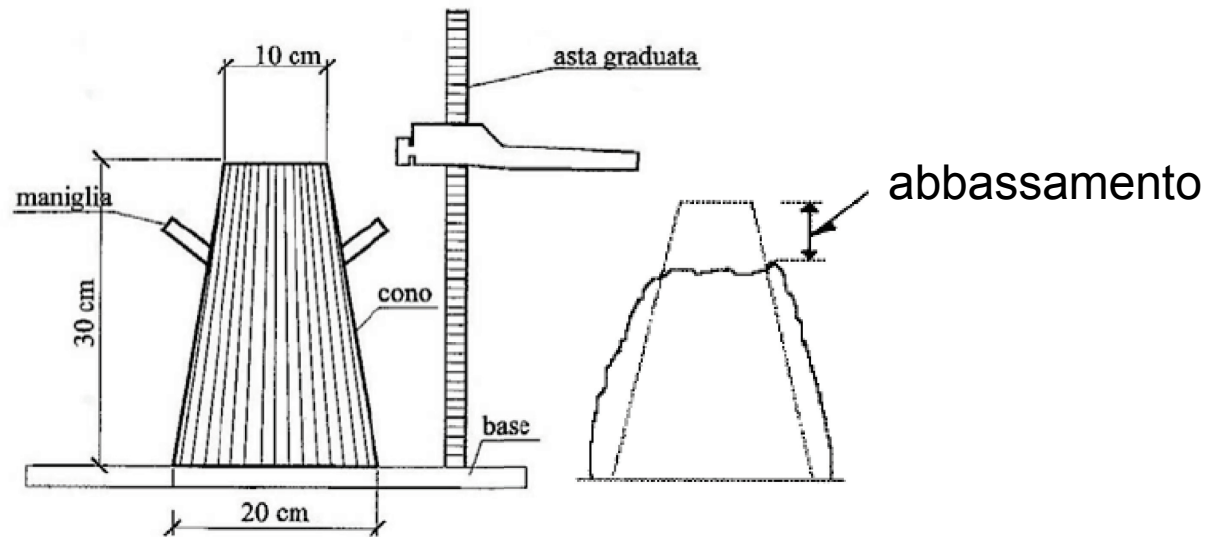
## Cassaforma in legno e particolari realizzativi



# LE PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO

---

La **lavorabilità** (o il suo contrario *consistenza*) è un indice delle proprietà del cls nell'intervallo di tempo tra la produzione e la messa in opera. Generalmente la consistenza è valutata attraverso la misura dell'abbassamento (*slump*) effettuata con il **cono di Abrams**

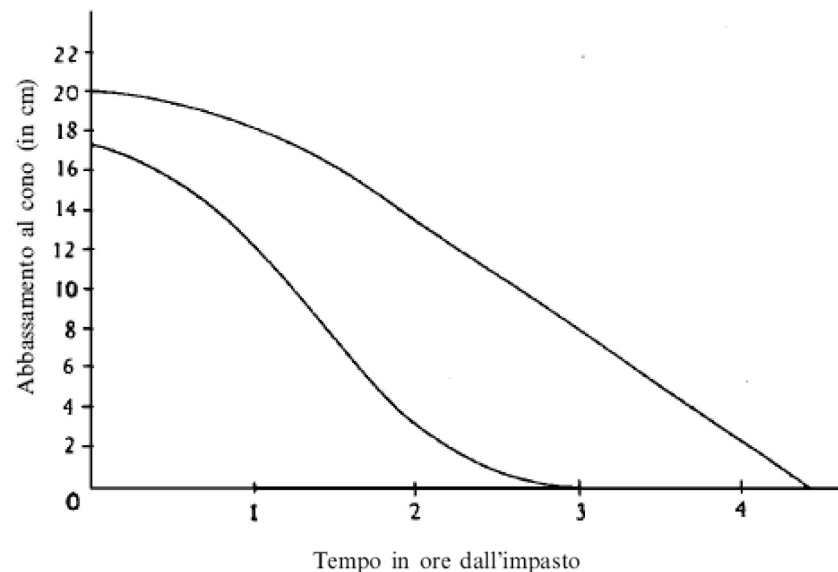


# LE PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO

In funzione dell'abbassamento al cono le "Linee guida sul cls strutturale" (C.S.LL.PP., 1996) definiscono 5 classi di consistenza

Classe di consistenza	Abbassamento mm	Denominazione corrente
S1	da 10 a 40	Umida
S2	da 50 a 90	Plastica
S3	da 100 a 150	Semifluida
S4	da 160 a 210	Fluida
S5	> 210	Superfluida

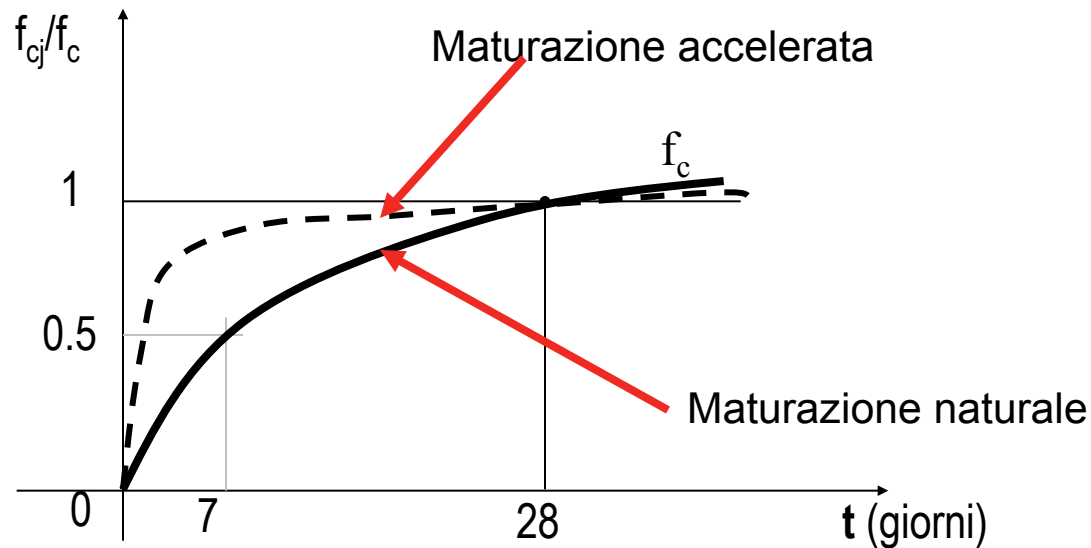
La **perdita di lavorabilità** avviene entro poche ore dall'impasto ed è funzione delle condizioni ambientali (es. temperatura) e dalle caratteristiche dell'impasto (contenuto d'acqua)



# LE PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO

Il fenomeno dell'indurimento (o maturazione) conferisce al cls le proprietà meccaniche finali. La durata di tale processo è teoricamente "infinita", ma si sviluppa essenzialmente nel corso dei primi mesi.

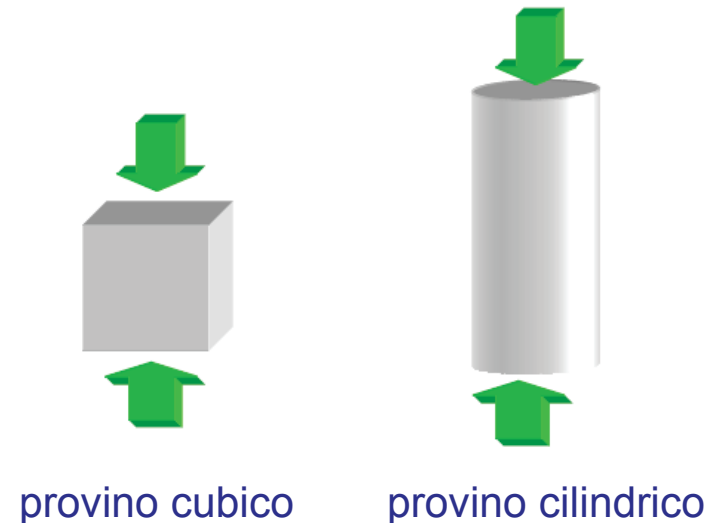
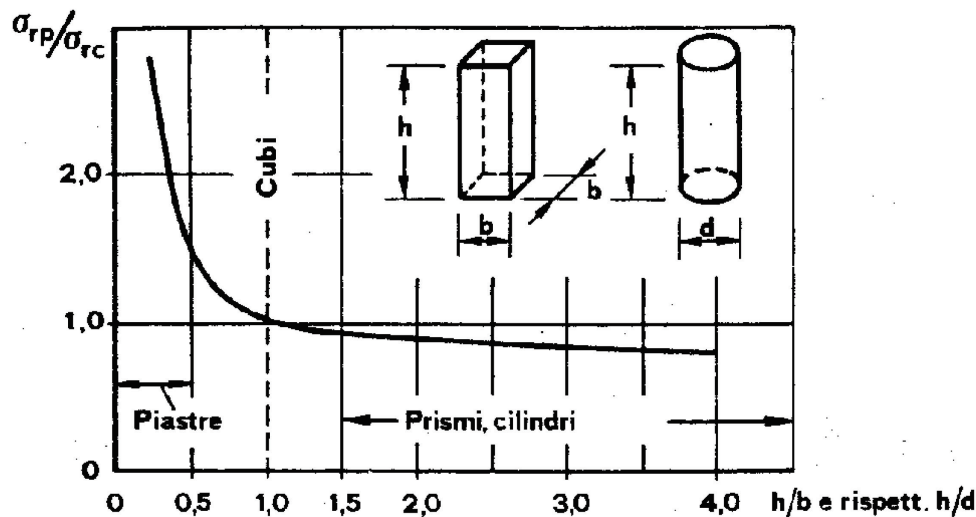
La resistenza a compressione di un cls è assunta convenzionalmente a 28gg di stagionatura.



Il processo di maturazione può essere accelerato agendo su temperatura e umidità dell'ambiente

# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

Si definisce **resistenza a compressione** il valore della tensione di rottura di un provino standard di cls stagionato a 28gg. In particolare si definisce **resistenza cubica  $R_c$**  la resistenza ottenuta attraverso una prova di compressione di un provino cubico (generalmente di spigolo 15-20cm). La **resistenza cilindrica  $f_c$**  è invece ottenuta da un provino cilindrico con altezza  $H = 2D$  ( $D$  diametro generalmente di 10-15cm).

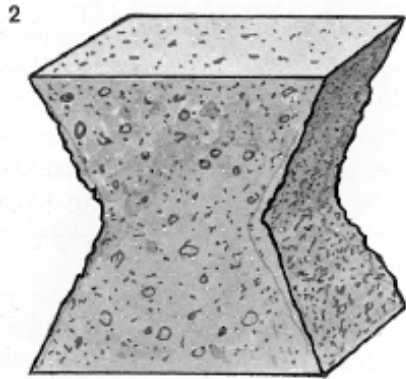


Tra la resistenza cilindrica e quella cubica vale la seguente relazione:

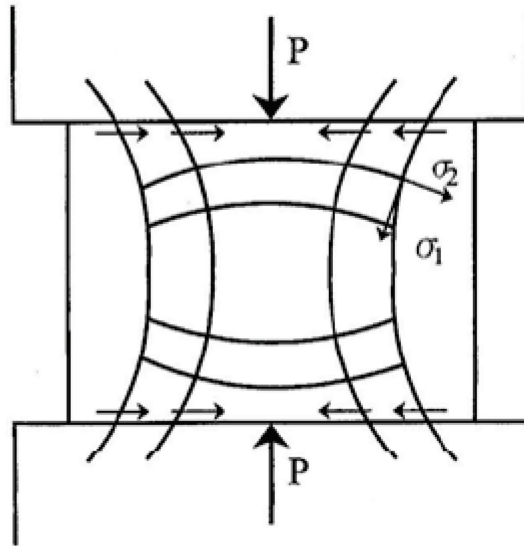
$$f_c \approx 0.83R_c$$

# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

Le tensioni tangenziali all'interfaccia piastra-provino determinano una rottura "a doppia piramide". La distanza di estinzione delle tensioni tangenziali determina distribuzione delle tensioni e modalità di rottura diverse tra provini cubici e cilindrici.

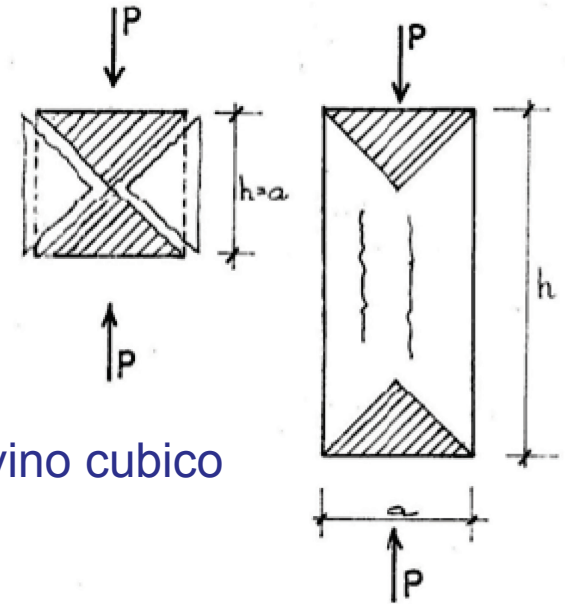


Forma a doppia piramide dopo la prova di compressione



$\sigma_1$  = tensioni di compressione

$\sigma_2$  = tensioni di trazione



provino cubico

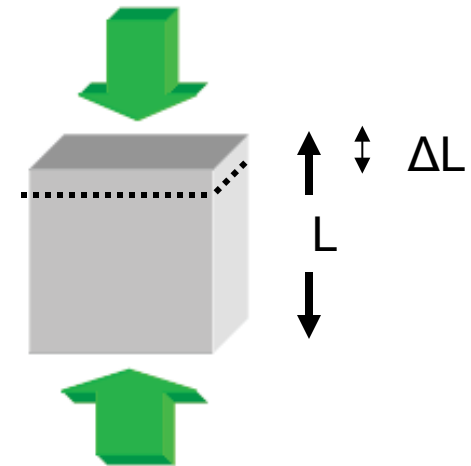
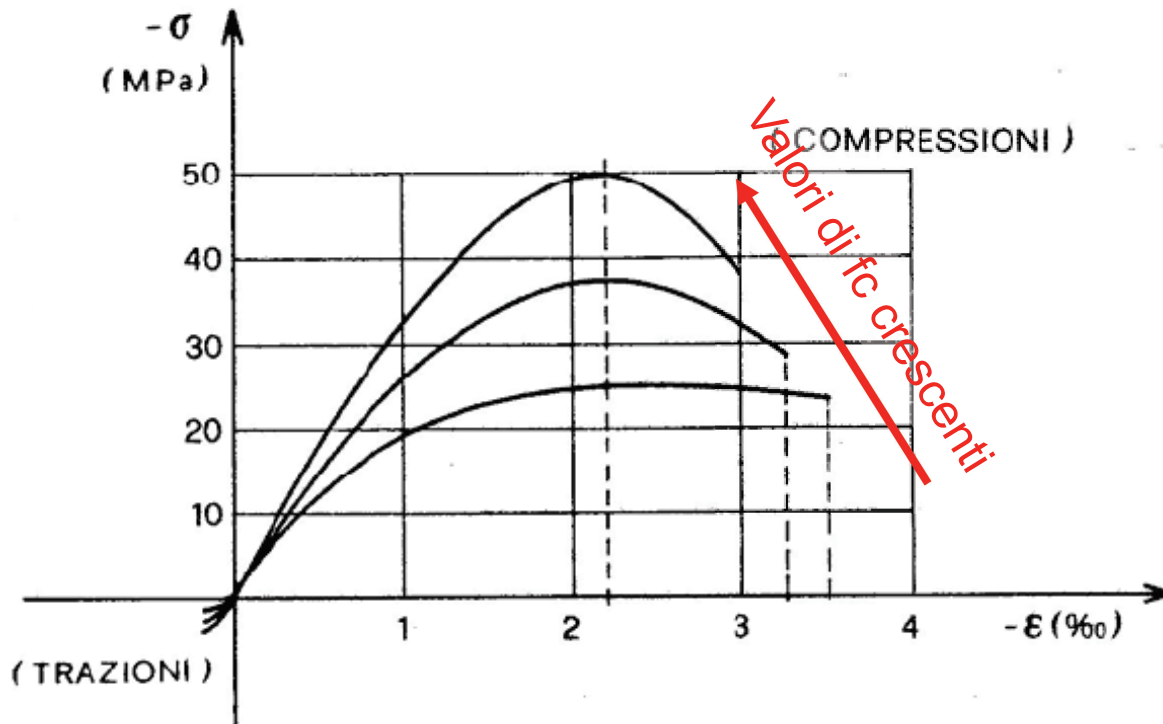
provino cilindrico

# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

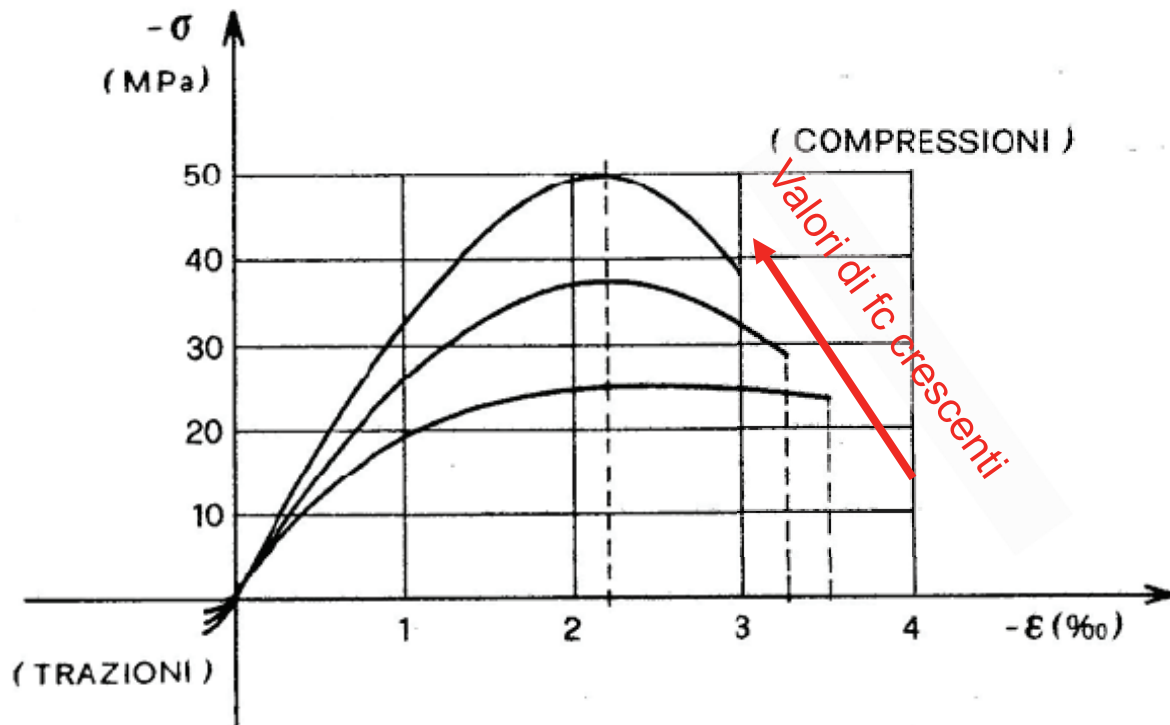
I risultati di una **prova di compressione** sono generalmente restituiti sotto forma di **diagramma tensioni-deformazioni** ( $\sigma$ - $\epsilon$ ).

$\sigma = P/A$  (P carico; A area del provino)

$\epsilon = \Delta L/L$  ( $\Delta L$  accorciamento e L lunghezza originaria del provino)



# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

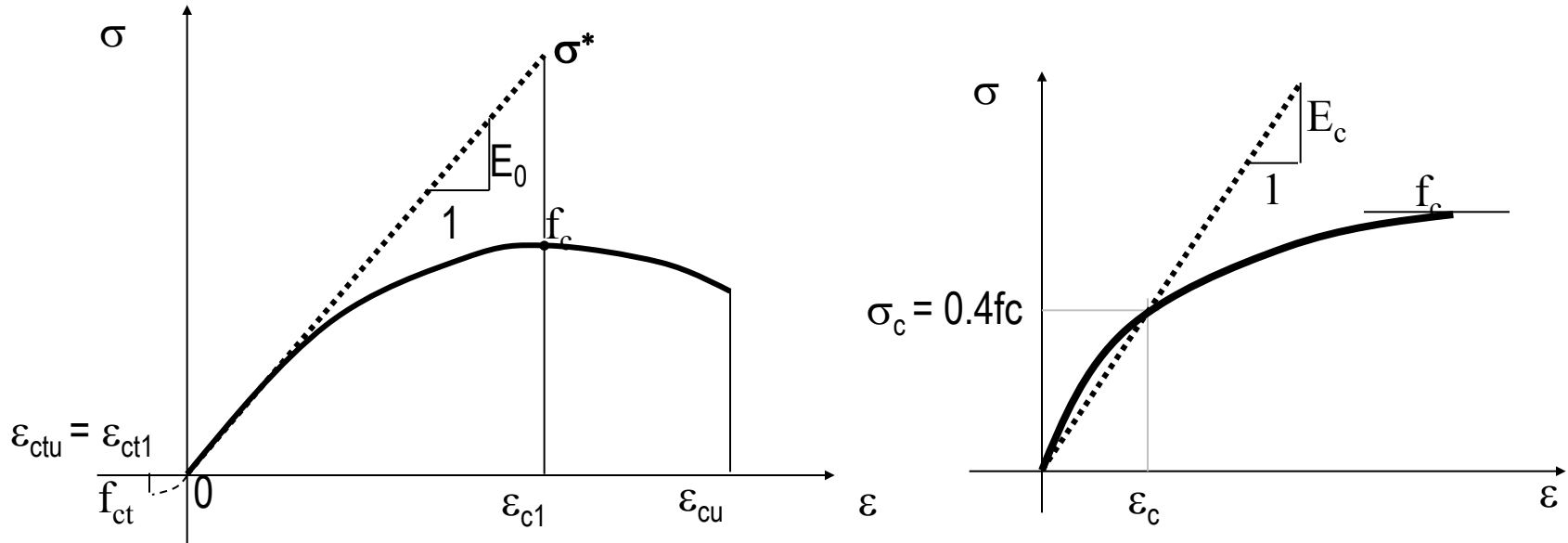


- forte dissimmetria con resistenze a compressione molto più elevate di quelle a trazione (circa 1/10 di quelle a compressione);
- comportamento deformativo non lineare anche per modesti valori delle tensioni;
- deformazioni ultime a rottura molto piccole;
- modulo elastico del tratto iniziale diverso al variare della resistenza a compressione;

# LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CLS

Dato un diagramma  $\sigma$ - $\varepsilon$  si definisce **modulo elastico** (E) il rapporto tra la tensione e la corrispondente deformazione

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$



Per il cls si valuta sia il **modulo elastico tangente all'origine**  $E_0$  sia il **modulo secante**  $E_c$ , quest'ultimo valutato generalmente a  $0.4f_c$ :  $E_0 \approx 1.1E_c$

Secondo la norma italiana NTC-08 il modulo di elasticità secante è pari a :

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \quad [\text{N/mm}^2]$$

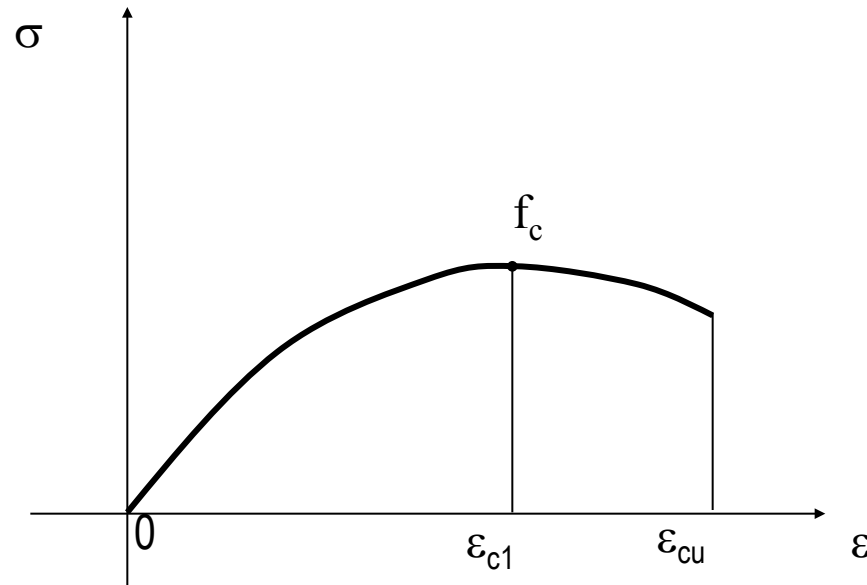


# LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CLS

Per un cls si definiscono le **deformazioni** in corrispondenza di  $f_c$  ( $\epsilon_{c1}$ ) e quella ultima ( $\epsilon_{cu}$ ). Queste grandezze generalmente assumono i seguenti valori:

$$\epsilon_{c1} \approx 0.0022$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0037 - 0.0008 \frac{f_c - 15}{40}$$



# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

---

A causa dell'**evaporazione dell'acqua** di impasto il cls subisce nel tempo una riduzione di volume (**ritiro**).

La deformazione da ritiro è somma di due aliquote:

*ritiro autogeno + ritiro da essiccamento*

In strutture iperstatiche il ritiro determina autotensioni che devono essere debitamente tenute in conto al fine di evitare pericolose fessurazioni.

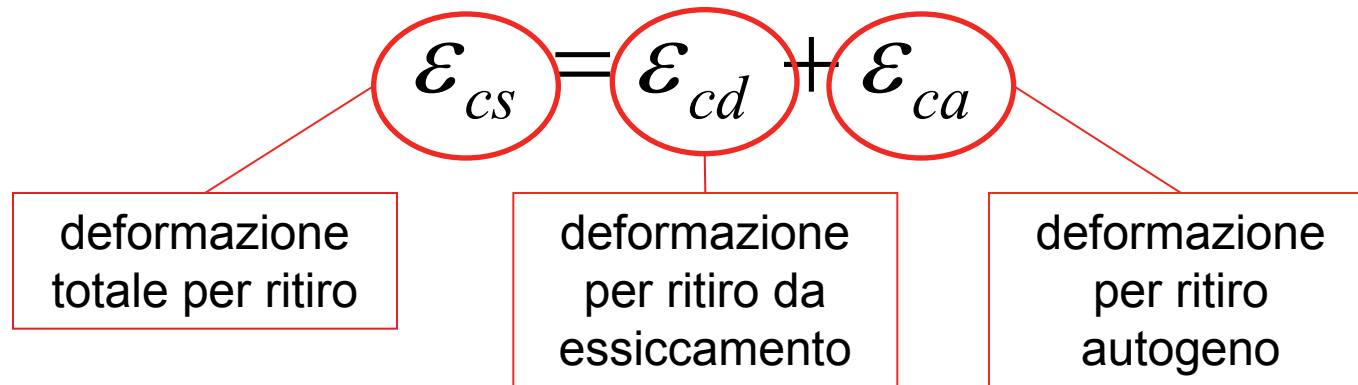
Il ritiro dipende da:

- contenuto d'acqua;
- tipo di cemento;
- quantità dei vuoti;
- temperatura e umidità di maturazione
- geometria dell'elemento

# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

**Ritiro autogeno:** è la contrazione di volume apparente dovuta alla reazione di idratazione del cemento a partire dal tempo iniziale di presa.

**Ritiro da essiccamento:** è dovuto alla evaporazione dell'acqua verso l'ambiente insaturo: nei pori capillari inizialmente saturi di acqua si creano dei menischi che provocano la contrazione della matrice cementizia a causa della tensione capillare..



$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \epsilon_{c0}$$

Ritiro da essiccamento a tempo infinito  
(NTC08, §11.2.10.6, Tab. 11.2.V)

$$\epsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

Ritiro autogeno a tempo infinito  
(NTC08, §11.2.10.6)

# IL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL CLS

---

In generale all'istante  $t$  la deformazione del cls è data da:

$$\varepsilon_c(t) = [\varepsilon_{cT}(t) + \varepsilon_{cs}(\tau')] + [\varepsilon_{ce}(t_0) + \varepsilon_{cv}(\tau, t_0)]$$

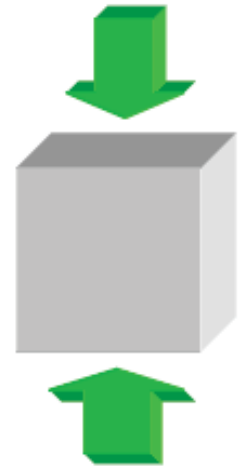
$\varepsilon_c$  deformazione globale all'istante  $t$

$\varepsilon_{cT}$  dilatazione termica dovuta alla differenza istantanea di temperatura rispetto a quella iniziale

$\varepsilon_{cs}$  ritiro progressivo del calcestruzzo, che cresce con l'età

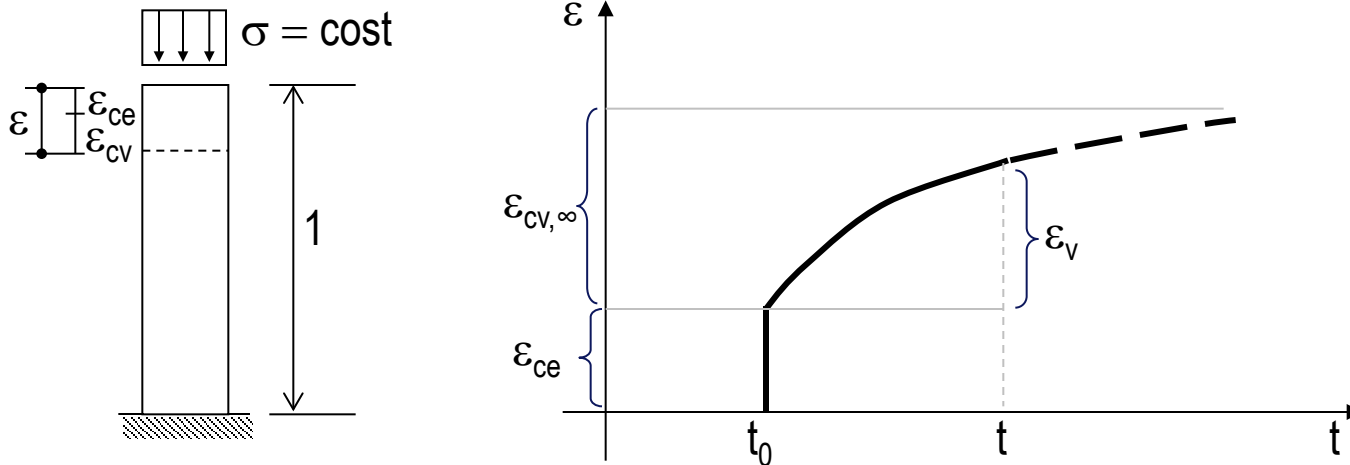
$\varepsilon_{ce}$  deformazione elastica istantanea che si manifesta all'istante  $t_0$  di applicazione di un carico

$\varepsilon_{cv}$  deformazione viscosa progressiva che cresce con la permanenza del carico stesso



# LA VISCOSITA' DEL CLS (FLUAGE)

Un provino di cls sottoposto a carichi permanenti presenta una deformazione **elastica**  $\varepsilon_{ce}$  ( $t=0$ ) e una **viscosa** ( $\varepsilon_{cv,\infty}$ ) che si esaurisce a  $t = \infty$



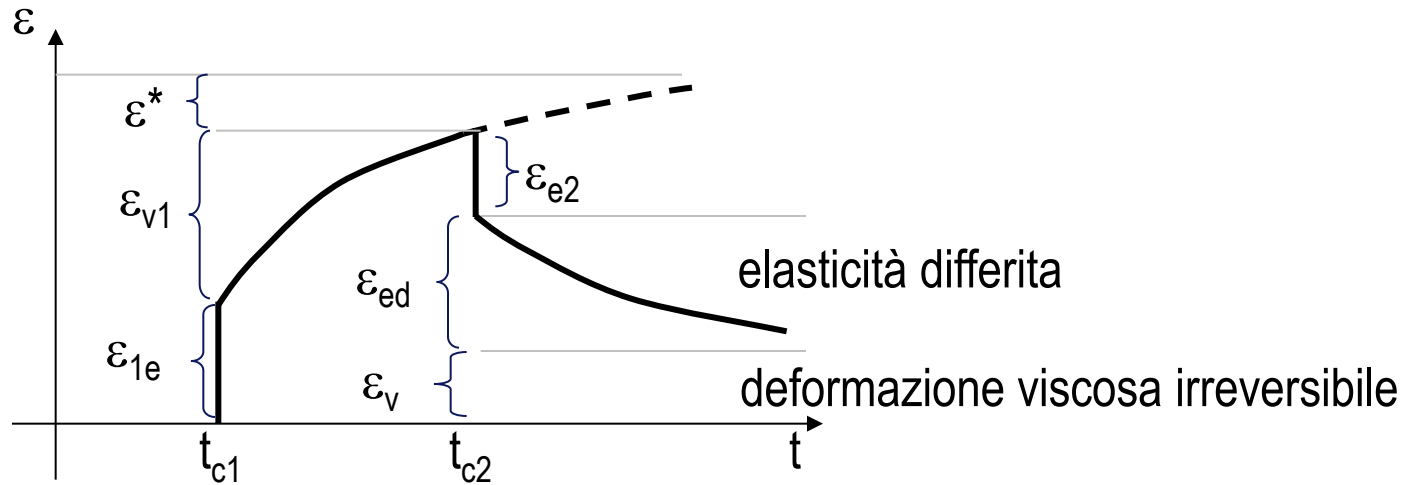
La funzione che definisce le deformazioni (elastiche e viscosi) è del tipo:

$$\varepsilon(t, t_0) = \varepsilon_{ce}(t_0) + \varepsilon_{cv}(t, t_0) = \frac{\sigma}{E_0} [1 + \phi(t, t_0)]$$

Dove  $\phi(t, t_0)$  è il **coefficiente di viscosità** ed esprime il rapporto tra parte viscosa letta al tempo  $t$  e la parte elastica della contrazione sotto tensione costante a partire dall'istante  $t_0$

# LA VISCOSITA' DEL CLS (FLUAGE)

Prova di carico al tempo  $t_{c1}$  e scarico al tempo  $t_{c2}$



$\varepsilon_v$  è la **deformazione viscosa** (irreversibile). Dipende da:

- tensione di carico/tensione di rottura
- durata di applicazione del carico
- qualità del calcestruzzo (es. tipo di cemento, porosità)

## LA VISCOSITA' DEL CLS (FLUAGE)

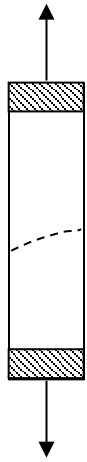
---

La **deformazione viscosa** avviene per **scorrimenti tra i grani della matrice**; pertanto per **cls compatti** e con **elevata resistenza del cemento** tale effetto si riduce notevolmente.

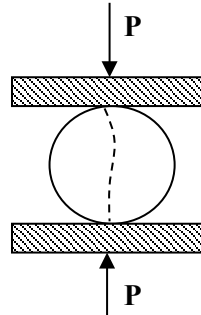
Da sperimentazioni è emerso che:

- la deformazione viscosa è circa 2-3 volte quella elastica;
- si ritiene stabilizzata a circa 1200gg dall'applicazione del carico: per cls di buona qualità si ha che in 30gg si raggiunge il 30% della deformazione viscosa;
- La deformazione elastica differita per effetto dello scarico rappresenta il 20-30% di quella elastica e procede molto velocemente nei primi 20-30gg per poi stabilizzarsi entro 2/3 anni

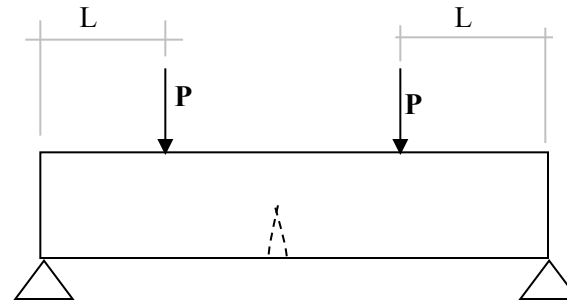
# LA RESISTENZA A TRAZIONE DEL CLS



a)



b)



c)

- a) prova a trazione semplice
- b) prova a “fendage” o prova brasiliana
- c) prova a flessione semplice

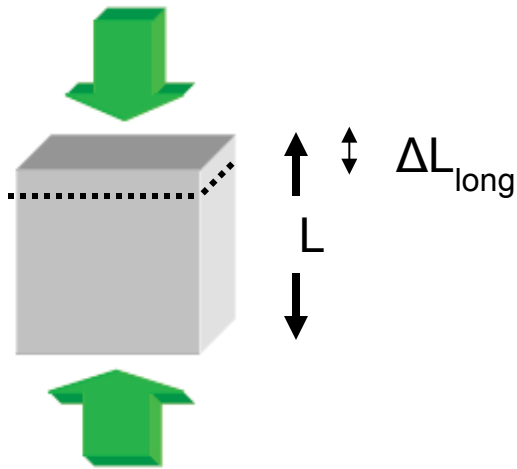
In fase di progettazione la **norma NTC-08** consente di stimare la **resistenza a trazione** attraverso il valore a compressione

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq C50/60$$
$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln[1 + f_{cm}/10] \quad \text{per classi} > C50/60$$



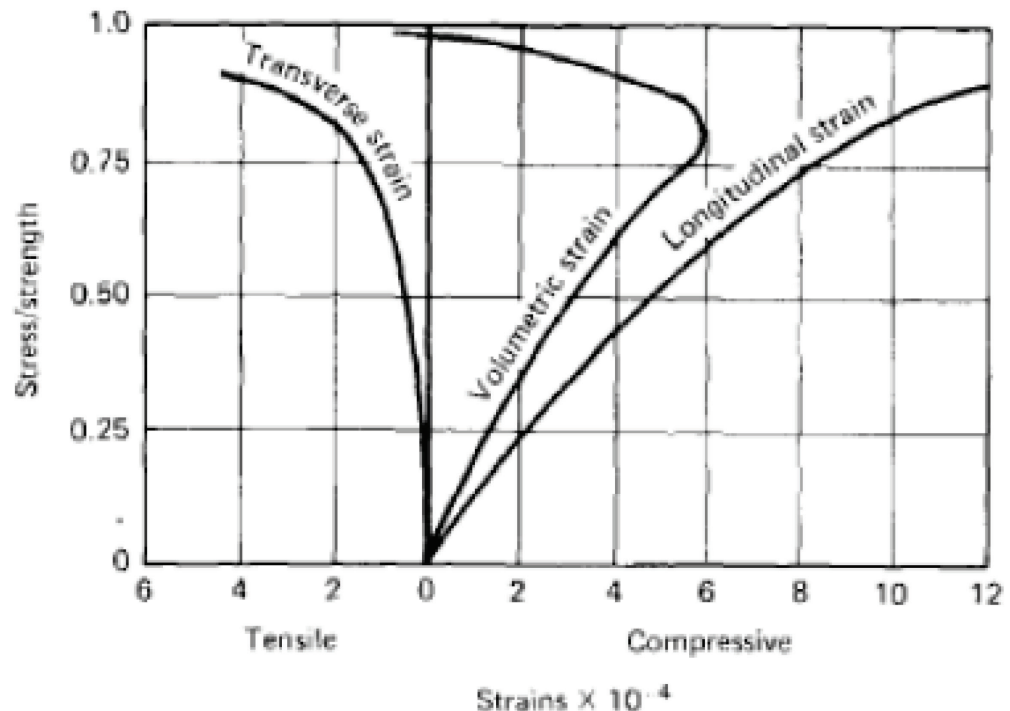
# LA DEFORMAZIONE TRASVERSALE

In presenza di uno **sforzo assiale** il provino di cls subisce anche una **deformazione trasversale** ( $\epsilon_t$ ). L'andamento è **non lineare** ed è regolata dal coefficiente di Poisson, generalmente assunto pari a 0.15-0.2



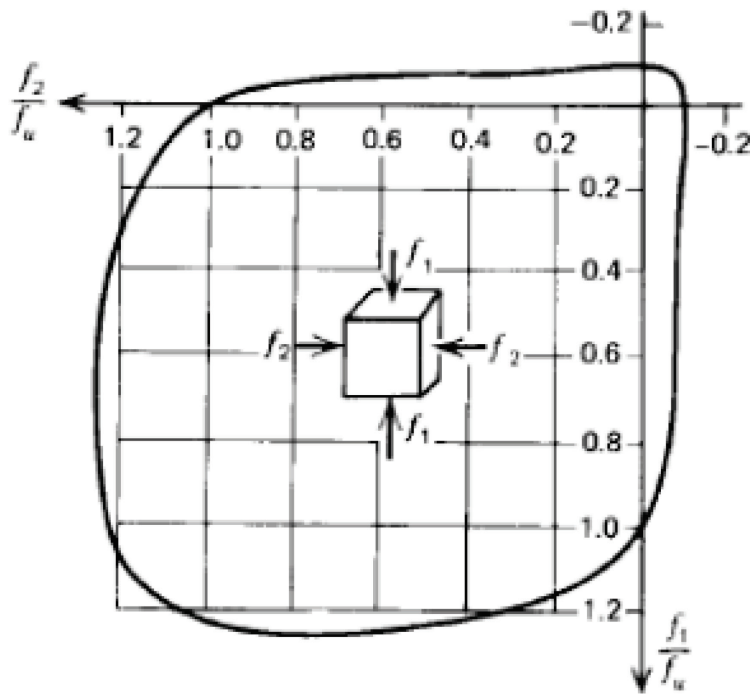
Oltre alla contrazione longitudinale DL si verifica anche una dilatazione trasversale che determina:

$$\epsilon_t = -\nu\sigma/E \quad (\nu = \text{coeff. di Poisson})$$

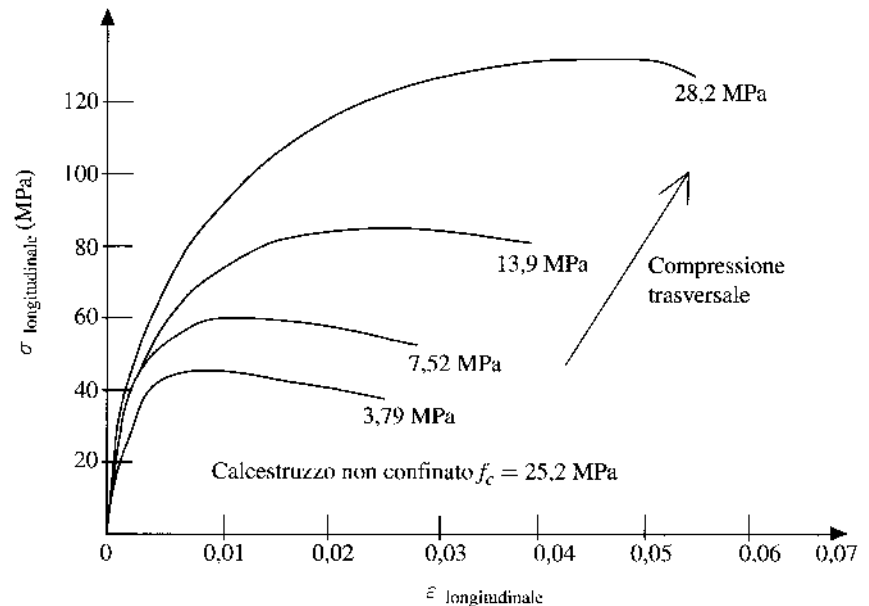


# LEGAME COSTITUTIVI PLURIASSIALI

La presenza di uno **sforzo di compressione** trasversale **aumenta sia la resistenza** a compressione sia la **deformazione ultima** in direzione longitudinale



Legame costitutivo bi-assiale



Legame costitutivo tri-assiale

# Calcestruzzo Armato (C.A.): MATERIALI COSTITUENTI

---

Calcestruzzo di cemento +

Acciaio (da c.a.) =

---

CALCESTRUZZO ARMATO

- **Gli sforzi di trazione** sono affidati **ESCLUSIVAMENTE all'acciaio**
- **Gli sforzi di compressione** sono affidati **PREVALENTEMENTE al calcestruzzo**

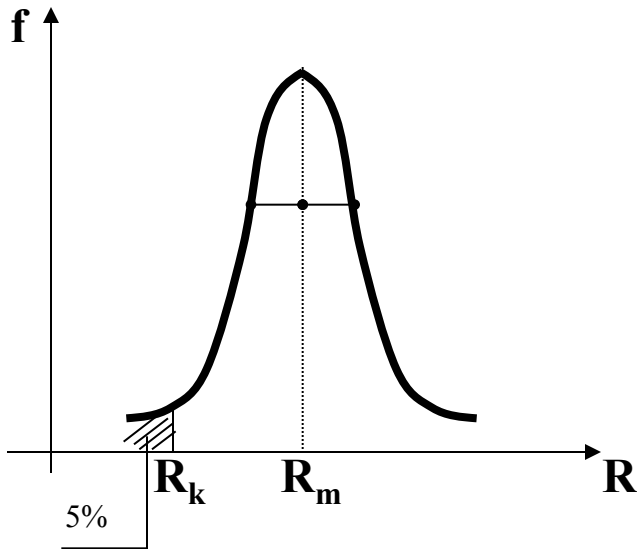
Le **RESISTENZE** di calcestruzzo ed acciaio vengono convenzionalmente identificate mediante il valore caratteristico  $R_k$ .

## **DALLE NTC-08**

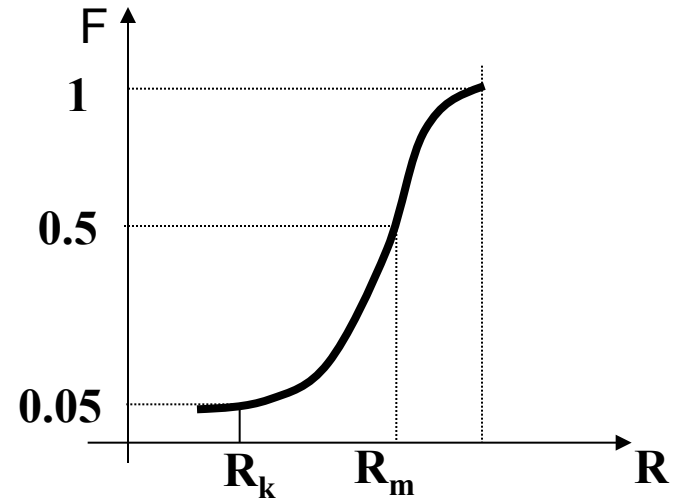
*Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo, questo viene titolato ed identificato mediante la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate rispettivamente su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in MPa.*

# LA RESISTENZA CARATTERISTICA

Data una popolazione di valori si definisce **resistenza caratteristica  $R_k$**  quella resistenza al di sotto della quale ci si può attendere di trovare il 5% della popolazione di tutte le misure di resistenza.



$f(R)$  funzione densità di probabilità delle resistenze  $R$



$F(R)$  funzione cumulativa di probabilità delle resistenze  $R$

# Le caratteristiche meccaniche del CALCESTRUZZO

---

La norma NTC-08 prevede l'impiego delle seguenti classi di resistenza del cls

CLASSE DI RESISTENZA
C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C 32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Esempio: C20/25

$f_{ck} = 20\text{N/mm}^2$

$R_{ck} = 25\text{N/mm}^2$



Utilizzo sottoposto  
ad autorizzazione  
del CSLP

# LE PROVE DI ACCETTAZIONE sul CALCESTRUZZO

La norma NTC-08 prevede due tipi di controlli di accettazione del cls.

## **CONTROLLO TIPO A**

È riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m<sup>3</sup>.

Si basa su 3 prelievi\* (ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m<sup>3</sup>, e comunque un prelievo ogni giorno di getto) da cui si ottengono le resistenze

R<sub>1</sub>; R<sub>2</sub>; R<sub>3</sub>, da cui:

$$R_M = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$$

## **Il controllo è positivo e il cls accettato se:**

$$R_M \geq R_{ck} + 3.5 \quad [\text{N/mm}^2] \text{ e}$$

$$R_1 \geq R_{ck} - 3.5 \quad [\text{N/mm}^2] \text{ (} R_1 \text{ è il minore valore di resistenza dei prelievi)}$$

\* Un prelievo è costituito da due provini; la resistenza di prelievo R<sub>i</sub> è la media delle resistenze dei due provini

# LE PROVE DI ACCETTAZIONE sul CALCESTRUZZO

## **CONTROLLO TIPO B**

Opere strutturali che richiedono l'impiego di più di 1500 m<sup>3</sup> di miscela omogenea.

Si basa su almeno 15 prelievi ogni 1500 m<sup>3</sup> di calcestruzzo gettato, e comunque un prelievo ogni giorno di getto.

$$R_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \qquad \sigma = \sqrt{\frac{(R_M - R_i)^2}{(n-1)}}$$

### **Il controllo è positivo e il cls accettato se:**

$$R_M \geq R_{ck} + 1.4\sigma \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$R_1 \geq R_{ck} - 3.5 \text{ [N/mm}^2\text{]} \text{ (} R_1 \text{ è il minore valore di resistenza dei prelievi)}$$

In questo caso la resistenza minima di prelievo  $R_1$  dovrà essere maggiore del valore corrispondente al frattile inferiore 1%.

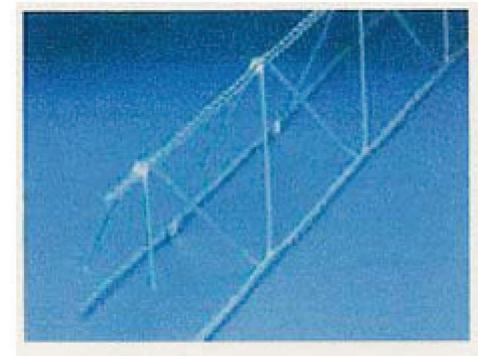
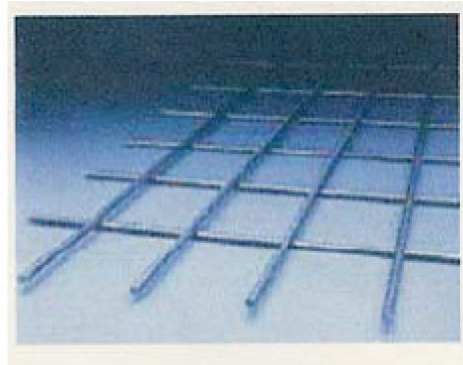
Per calcestruzzi con coefficiente di variazione  $CoV$  ( $\sigma / R_M$ ) superiore a 0.15 occorrono controlli più accurati.

Non sono accettabili calcestruzzi con coefficiente di variazione superiore a 0.3.

# L'ACCIAIO DA C.A.

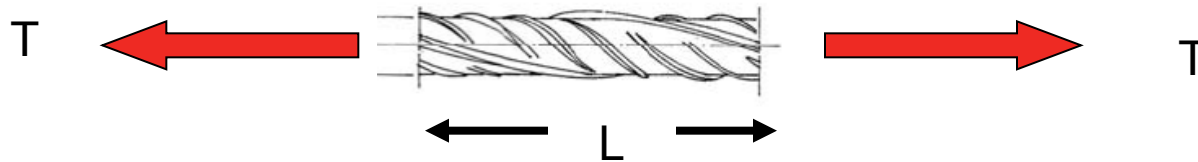
---

- L'acciaio da c.a. è prodotto in stabilimento sotto forma di **barre o rotoli, reti o tralicci**.
- Tutti i tondini di acciaio da c.a. devono essere ad adherenza migliorata e saldabili.
- In commercio sono reperibili barre con diametro variabile da 6 a 40mm (con passo di 2mm). I diametri più utilizzati nella pratica sono compresi tra 8 e 26mm.

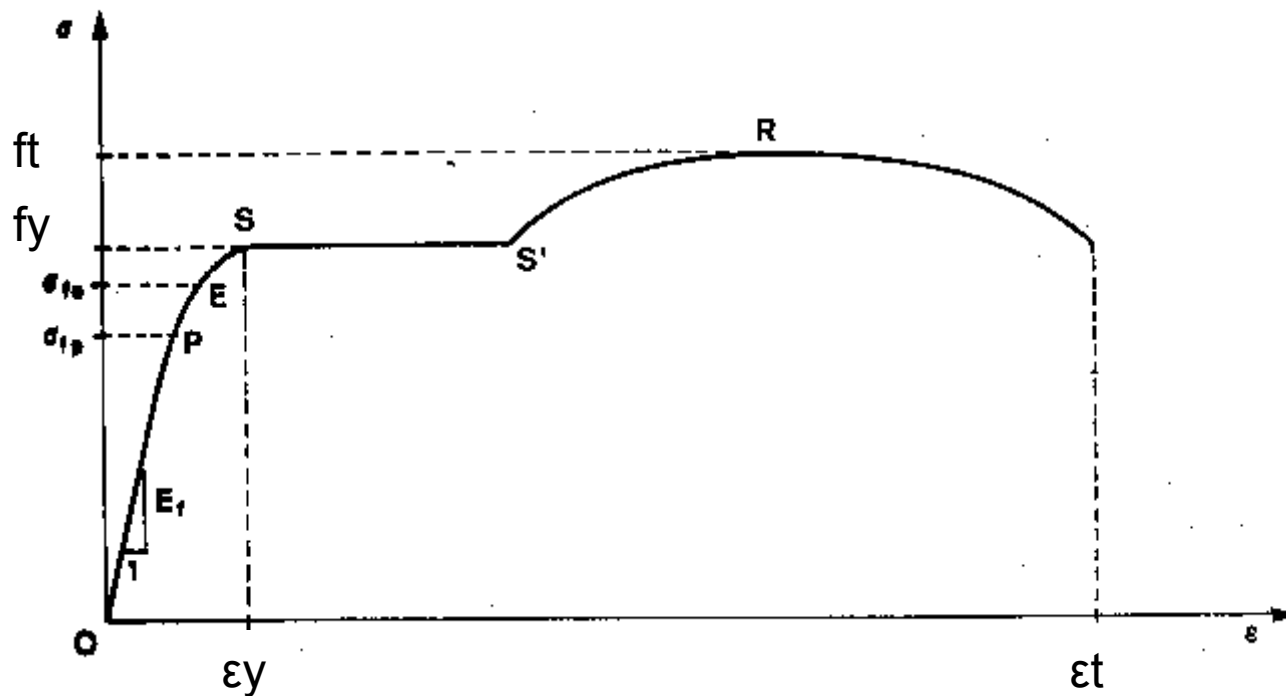




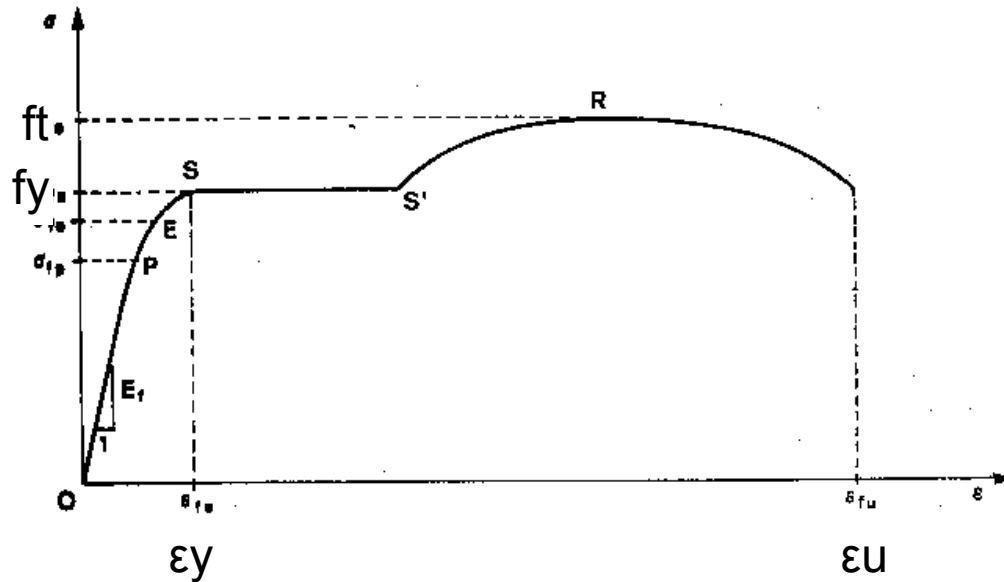
# L'ACCIAIO DA C.A.



Sottoponendo una **barre di acciaio** da c.a. ad una **prova di trazione** si ottiene il seguente diagramma ( $\sigma$ - $\epsilon$ ).



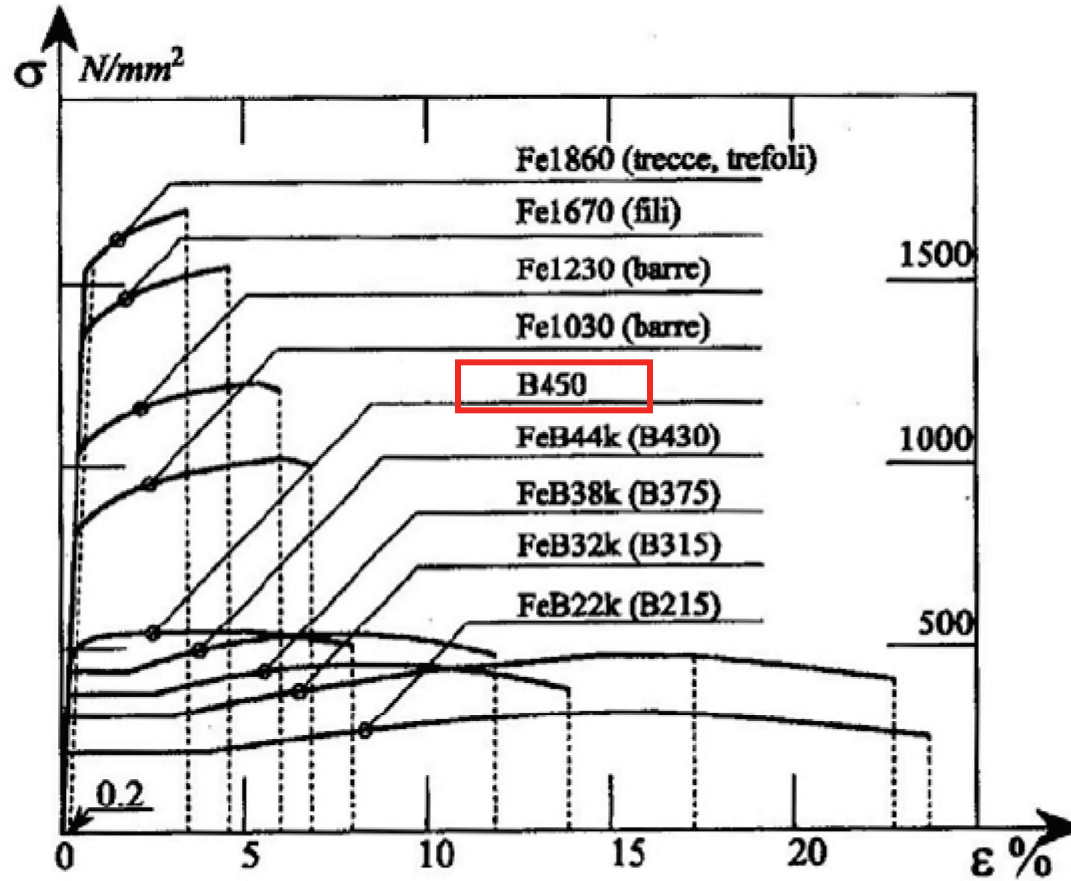
# L'ACCIAIO DA C.A.



- comportamento “elastico – lineare” fino al limite  $f_y$  di snervamento;
- modulo elastico  $E_s$  con buona precisione pari, per tutti i tipi di acciaio, a 205000 MPa;
- ripresa della crescita tensionale, dopo un notevole allungamento (snervamento), a seguito dell’incrudimento del materiale;
- raggiungimento della massima capacità resistente  $f_t$  per elevati valori dell’allungamento  $\varepsilon$ .
- discesa della curva dopo il carico massimo per il fenomeno di strizione del provino fino all’allungamento a rottura  $\varepsilon_U$ ;

# L'ACCIAIO DA C.A.

Al crescere della resistenza allo snervamento  $f_y$  si osserva una riduzione della deformazione ultima  $\epsilon_u$



# L'ACCIAIO DA C.A.

La norma italiana NTC-08 prevede due tipi di acciaio per c.a. indicati con le sigle B450A e **B450C** con i seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche e di snervamento:

$f_{y, nom}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t, nom}$	540 N/mm <sup>2</sup>

$$(f_{t,nom} / f_{y,nom} = 1.2)$$

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{y, nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_y/f_{y,nom})_k$	$< 1,35$	10.0
$(f_y/f_{y,nom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	

## Acciaio B450C

L'acciaio B450C è prescritto per le strutture in **zona sismica**

# LE PROVE DI ACCETTAZIONE DELL'ACCIAIO

---

Entro 30gg dalla data di consegna per ciascun lotto di spedizione devono essere estratti **3 spezzoni** di **ciascun diametro** e sottoposti a **prove di trazione**. I risultati devono soddisfare i valori limite riportati nella seguente tabella.

Caratteristica	Valore limite	NOTE
$f_y$ minimo	425 N/mm <sup>2</sup>	(450 – 25) N/mm <sup>2</sup>
$f_y$ massimo	572 N/mm <sup>2</sup>	[450 x (1,25+0,02)] N/mm <sup>2</sup>
$A_{gt}$ minimo	$\geq 6,0\%$	per acciai B450C
$A_{gt}$ minimo	$\geq 2,0\%$	per acciai B450A
Rottura/snervamento	$1,13 \leq f_t / f_y \leq 1,37$	per acciai B450C
Rottura/snervamento	$f_t / f_y \geq 1,03$	per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	assenza di cricche	per tutti