

**CORSO DI SPERIMENTAZIONE, COLLAUDO E CONTROLLO DELLE COSTRUZIONI**

**Facoltà di Architettura**

**Università degli Studi di Napoli "Federico II"**



**LE PROVE DI QUALIFICAZIONE  
PER IL CEMENTO ARMATO**

**Prof. Ing. R. Landolfo**

*Anno Accademico 2004-2005*

**IL CEMENTO ARMATO**



## PREROGATIVE DEL CEMENTO ARMATO

### VANTAGGI

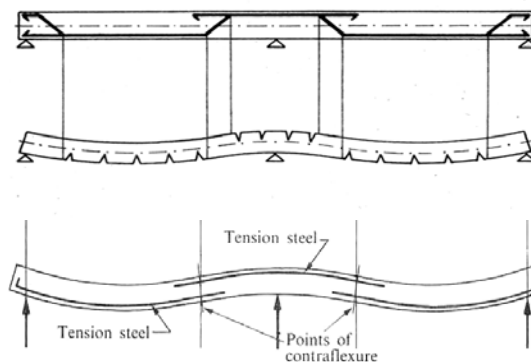
- Libertà di forma
- Ridotta manutenzione
- Basso costo dei materiali
- Impiego di manodopera non specializzata
- Resistenza al fuoco

### SVANTAGGI

- Peso elevato
- Lunghi tempi di esecuzione
- Elevato coefficiente di trasmissione termica
- Scarsa possibilità di recupero dei materiali
- Delicatezza nell'esecuzione del getto

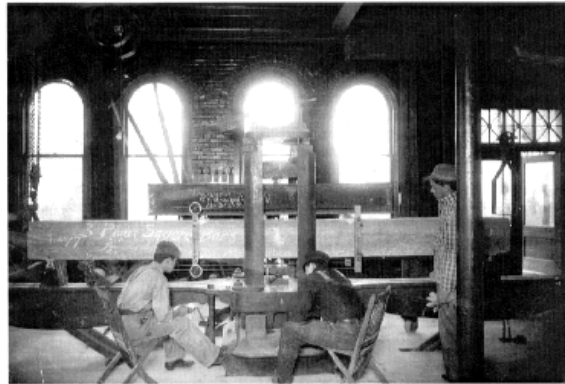


## L'IDEA DI BASE





TEST DI LABORATORIO

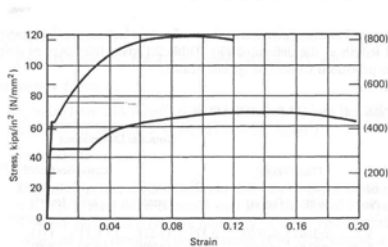


Experimental work in reinforced concrete, 1904, in the Laboratory of Applied Mechanics.



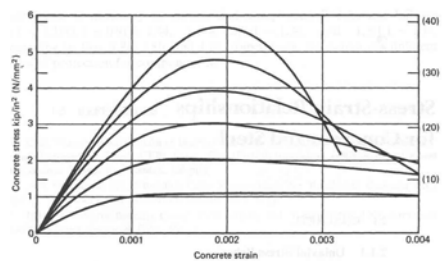
I COMPONENTI

ACCIAIO



Typical stress-strain curves for steel reinforcement.

CALCESTRUZZO



Stress-strain curves for concrete cylinders loaded in uniaxial compression.

Prove di laboratorio per l'analisi della risposta tensio-deformativa di ciascun materiale

# IL CALCESTRUZZO



## IL CEMENTO ARMATO

### CLASSIFICAZIONE

Composizione di 1 m<sup>3</sup> di calcestruzzo:

ORDINARI



- 0.80 m<sup>3</sup> di inerte grosso (pietrisco)
- 0.40 m<sup>3</sup> di inerte fino (sabbia)
- 300 kg di cemento
- 120-150 l di acqua

AD ALTA  
RESISTENZA

Presatura e indurimento in condizioni controllate di umidità relativa



Aumento del modulo di elasticità con legge meno che proporzionale alla resistenza => insidiose le verifiche di deformabilità

LEGGERI

Inerti leggeri naturali (pomice) o artificiali (scorie)

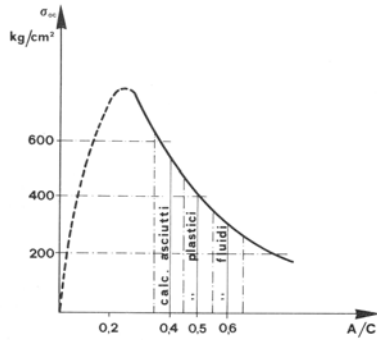


Scarsa interazione tra acciaio e calcestruzzo => inerti derivanti dalla cottura a elevata temperatura di speciali minerali argillosi

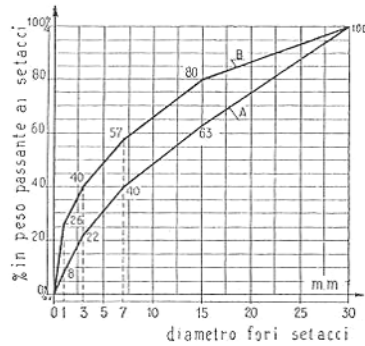




### RESISTENZA A COMPRESSIONE



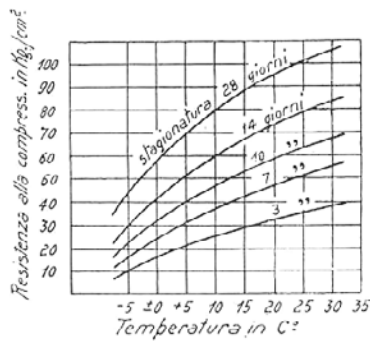
Rapporto acqua/cemento



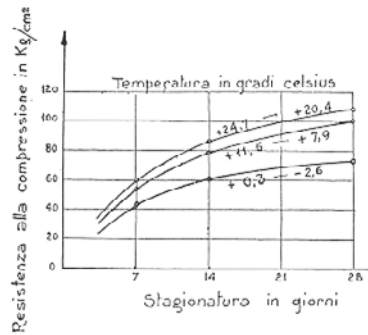
Curva granulometrica



### RESISTENZA A COMPRESSIONE



Temperatura di stagionatura



Tempo di stagionatura

# CONTROLLI SUL CONGLOMERATO

## Prove di laboratorio

### D.M. 9-01-1996 – Allegato 2



#### IL CEMENTO ARMATO

### RESISTENZA CARATTERISTICA

Un conglomerato viene individuato tramite la resistenza caratteristica a compressione. Essa è definita come la resistenza a compressione al di sotto della quale si può attendere di trovare il 5% della popolazione di tutte le misure di resistenza.

A meno di indicazione contraria, la “resistenza caratteristica” designa quella dedotta dalle prove a compressione a 28 giorni su cubi preparati e confezionati come indicato dalla normativa citata.

Le presenti norme sono basate sulla resistenza a compressione misurata su cubetti di spigolo 15, 16 o 20 cm.

$$R_{ck} = R_{cm} - k \cdot s \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{cm} - R_{ci})^2}{n-1}} \quad n \rightarrow \infty \quad s \rightarrow 1$$

La resistenza caratteristica richiesta dal conglomerato  $R_{ck}$  dovrà essere indicata dal progettista



## VALORI MASSIMI E MINIMI DELLA $R_{ck}$ (D.M. 9/1/996)

### STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO NORMALE

Per strutture armate non è ammesso l'impiego di conglomerati con  $R_{ck} < 15 \text{ N/mm}^2$

Nei calcoli statici non potrà essere presa in conto una resistenza caratteristica superiore a  $55 \text{ N/mm}^2$ . Per  $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$  si richiedono controlli statistici, sia preliminari che in corso d'impiego, e calcolazioni accurate delle strutture.

### STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO

Non possono essere utilizzati conglomerati con  $R_{ck} < 30 \text{ N/mm}^2$

Nei calcoli statici non può essere considerata una  $R_{ck} > 55 \text{ N/mm}^2$ . Per  $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$  si richiedono controlli statistici sia preliminari che in corso di impiego e calcolazioni accurate delle strutture.



## CONTROLLI SUL CONGLOMERATO

Il controllo di qualità del conglomerato ha lo scopo di accertare che il conglomerato realizzato abbia la resistenza caratteristica non inferiore a quella richiesta dal progetto.

Il controllo si articola nelle seguenti fasi:

- a) Studio preliminare di qualificazione  
Serve per determinare, prima dell'inizio delle opere, la resistenza del conglomerato. Dovrà essere verificato che il conglomerato abbia resistenza caratteristica non inferiore a quella richiesta dal progetto
- b) Controllo di accettazione  
Riguarda il controllo del conglomerato durante l'esecuzione delle opere
- c) Prove complementari  
Sono prove da eseguire, ove necessario, a completamento delle precedenti prove



## PRELIEVO DEI CAMPIONI

Un prelievo consiste nel prelevare dagli impasti, al momento della posa in opera nei casseri, il calcestruzzo necessario per la confezione di un gruppo di due provini.

La media delle resistenze a compressione dei due provini di un prelievo rappresenta la “Resistenza di prelievo”, che costituisce il valore mediante il quale vengono eseguiti i controlli del conglomerato.

È obbligo del Direttore dei Lavori prescrivere ulteriori prelievi rispetto al numero minimo, tutte le volte che variazioni di qualità dei costituenti dell'impasto possano far presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso

La preparazione e la stagionatura dei provini sono indicate a parte



## VALUTAZIONE PRELIMINARE DELLA RESISTENZA

Prima dell'inizio di una produzione di serie o della costruzione di un'opera, il costruttore deve valutare la resistenza caratteristica per ciascuna miscela omogenea di conglomerato.

Tale valutazione può essere effettuata sulla base delle esperienze acquisite o di valutazioni statistiche, o dell'uno e dell'altro criterio. Il costruttore resta comunque responsabile della valutazione effettuata, che sarà controllata come al paragrafo seguente.

## CONTROLLO DI ACCETTAZIONE

Il controllo di accettazione viene eseguito di regola secondo le indicazioni di cui al punto 1.

Per costruzioni con più di 1500 m<sup>3</sup> di getto di miscela omogenea si possono adottare, in alternativa, le indicazioni di cui al punto 2.

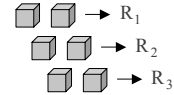


## 1. CONTROLLO TIPO A

Ogni controllo di accettazione è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m<sup>3</sup> di getto di miscela omogenea. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

- Il prelievo si effettua al momento della posa in opera del conglomerato nei casseri
- Occorre effettuare almeno 3 prelievi (consistenti in 2 cubetti ciascuno) ciascuno dei quali eseguiti su un massimo di 100 mc di getto di miscela omogenea

Siano  $R_1, R_2, R_3$  le tre resistenze di prelievo, con:  $R_1 \leq R_2 \leq R_3$



Il controllo è positivo se risultano verificate entrambe le disequazioni

$$R_m \geq R_{ck} + 3.5 [\text{Nmm}^{-2}] \quad R_{\min} \geq R_{ck} - 3.5 [\text{Nmm}^{-2}] \quad R_m = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$$

Nelle costruzioni con meno di 100 m<sup>3</sup> di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.



## 2. CONTROLLO TIPO B

Nelle costruzioni con più di 1500 m<sup>3</sup> di miscela omogenea è ammesso il controllo di accettazione di tipo statistico. Il controllo è riferito ad una definita miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m<sup>3</sup> di conglomerato.

Per ogni giorno di getto di miscela omogenea va effettuato almeno un prelievo, e complessivamente almeno 15 prelievi sui 1500 m<sup>3</sup>.

Il controllo è positivo ed il quantitativo di conglomerato accettato, se risultano verificate entrambe le disequazioni:

$$R_{cm} \geq R_{ck} + 1.4 \cdot s [\text{Nmm}^{-2}] \quad R_1 \geq R_{ck} - 3.5 [\text{Nmm}^{-2}]$$

essendo  $R_{cm}$  la resistenza media dei 15 o più prelievi,  $R_1$  il valore minore dei 15 o più prelievi ed  $s$  lo scarto quadratico medio.



## PRESCRIZIONI GENERALI

- Il prelievo dei provini per il controllo di accettazione va eseguito alla presenza del Direttore dei lavori o di un altro tecnico di sua fiducia
- I provini da inviare ai Laboratori Ufficiali vanno etichettati in maniera indelebile
- Se una prescrizione del controllo di accettazione non risulta rispettata occorrerà controllare a campione mediante prove in sito (carotaggi) la qualità del conglomerato. In caso di esito negativo, si potrà: dequalificare l'opera; eseguire lavori di consolidamento; demolire.
- I controlli di accettazione sono obbligatori e il collaudatore è tenuto a verificarne la validità. Ove ciò non fosse, occorrerà fare delle prove in sito per definire la qualità del materiale.
- La procedura prevista è integralmente estesa alla produzione di serie in stabilimento. Essa dovrà essere documentata dal responsabile della produzione che si assume la responsabilità del rispetto delle norme.



## DALLA RESISTENZA A COMPRESSIONE....

## TENSIONI NORMALI DI COMPRESSIONE AMMISSIBILI

$$\sigma_{Camm} = 6 + \frac{R_{ck} - 15}{4} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

**Riduzioni:**

- Travi a T (spessore soletta)
- Pilastri calcolati a compressione semplice

## TENSIONI TANGENZIALI AMMISSIBILI

$$\tau_{c0} = 0.4 + \frac{R_{ck} - 15}{75} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \tau_{c1} = 1.4 + \frac{R_{ck} - 15}{35} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

## TENSIONI TANGENZIALI DI ADERENZA

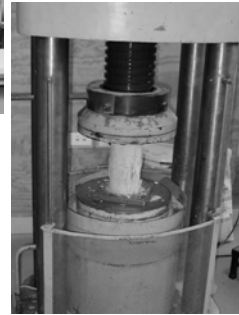
$$\text{Barre lisce} \quad \tau_b = 1.5\tau_{c0} \quad \tau_b = 3\tau_{c0} \quad \text{Barre ad aderenza migliorata}$$



## PROVA DI COMPRESSIONE SU CUBI O CILINDRI STANDARD



Provini cubici e/o cilindrici



## ROTTURA A COMPRESSIONE

Per un calcestruzzo ordinario, le deformazione a rottura risultano comprese nei seguenti intervalli:

$$\varepsilon_{cc} = 0.003 \div 0.004$$

$$\varepsilon_{ct} = 0.0001 \div 0.0002$$

$$\nu = 0.2$$



In mancanza di sforzi taglianti (compressione monoassiale pura) si ottengono le condizioni di rottura a trazione prima che siano attinte quelle a compressione

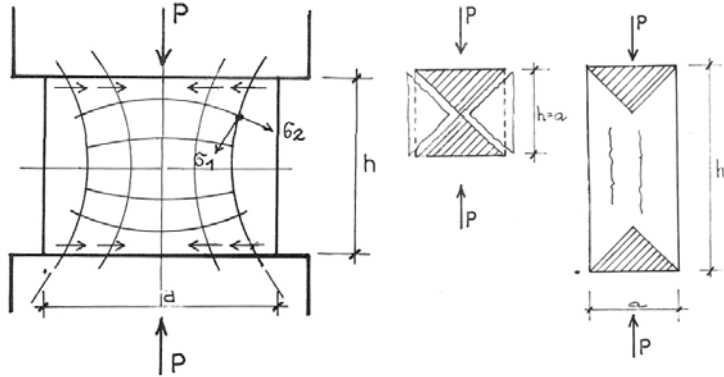
**Esempio:**

$$\varepsilon_{\text{vert.}} = 0.0025 < \varepsilon_{cc}$$
$$\varepsilon_{\text{orizzont.}} = 0.2 \cdot 0.0025 = 0.0005 > \varepsilon_{ct}$$

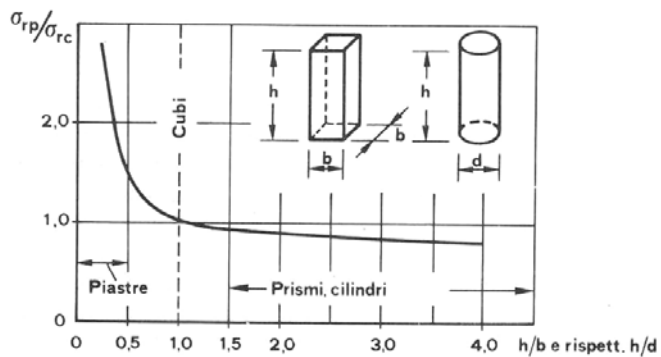
- L'insorgenza di sforzi di taglio dovuti all'attrito tra la pressa e il provino produce un effetto di cerchiatura che ostacola la deformazione trasversale.
- Tale effetto si riduce verso le zone periferiche del provino e tende a scomparire all'aumentare dell'altezza rispetto alla base.
- Nel primo caso (no attrito) la rottura del provino avviene con linee di frattura ad andamento verticale; nel secondo, invece, la rottura del provino assume una configurazione a fungo.



### ROTTURA A COMPRESSIONE

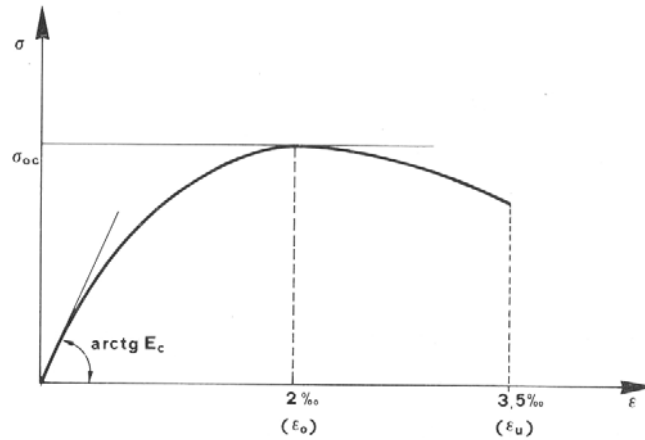


### EFFETTO DELLE DIMENSIONI DEL PROVINO





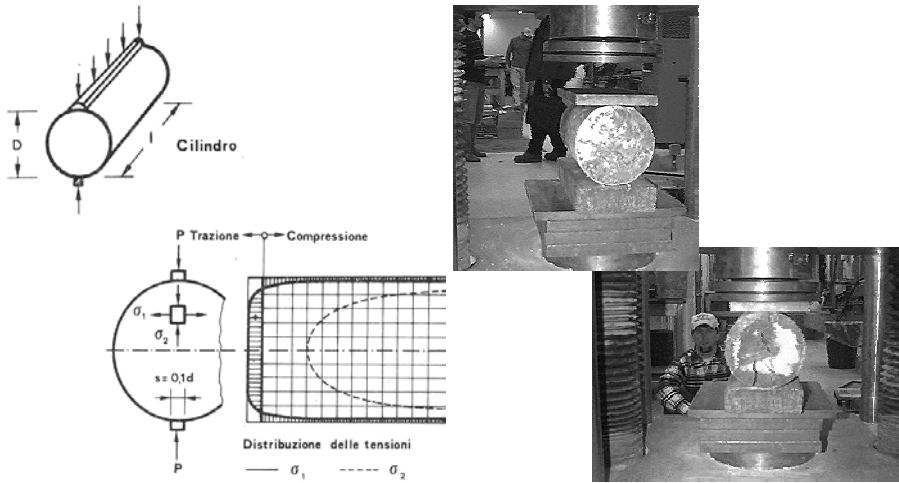
SCHEMATIZZAZIONE DELLA RISPOSTA TENSO-DEFORMATIVA



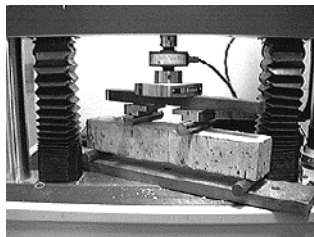
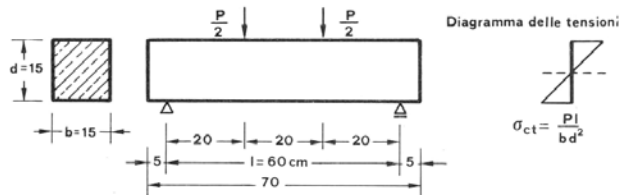
ULTERIORI PROVE DI  
LABORATORIO



### PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA (PROVA BRASILIANA)



### RESISTENZA A FLESSIONE





RESISTENZA A TRAZIONE SEMPLICE

$$f_{ctm} = 0.58\sqrt[3]{R_{ck}^2} \text{ [kg}_f\text{/cm}^2\text{]}$$

$$f_{ctm} = \frac{R_{ck}}{12 \div 15}$$

$$f_{ctm} = 0.27\sqrt[3]{R_{ck}^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

FRATTILE 5%

FRATTILE 95%

$$f_{ctk} = 0.7f_{ctm}$$

$$f_{ctk} = 1.3f_{ctm}$$

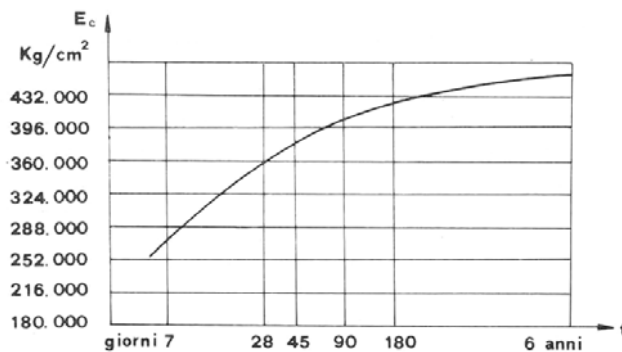
RESISTENZA A TRAZIONE PER FLESSIONE

$$f_{cfm} = 1.2f_{ctm}$$



DEFORMABILITA'

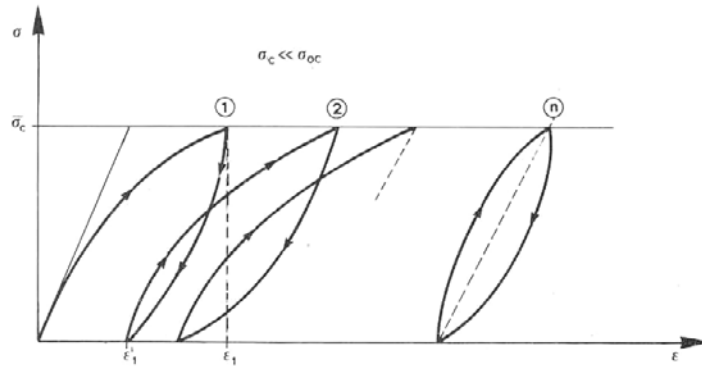
$$E_C = 18000\sqrt{R_{ck}} \text{ [kg}_f\text{cm}^{-2}\text{]} \quad E_C = 5700\sqrt{R_{ck}} \text{ [Nmm}^{-2}\text{]} \quad 0 < \nu < 0.2$$



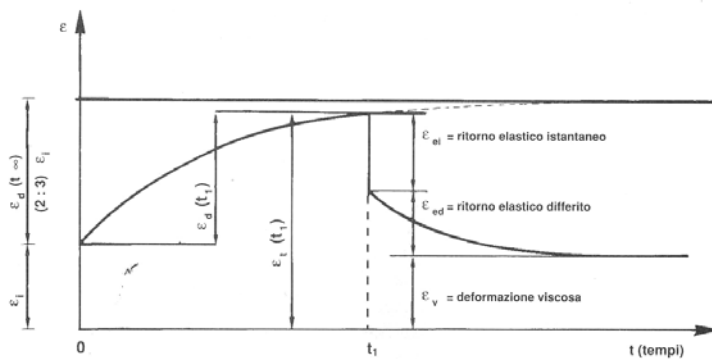
Incremento nel tempo delle caratteristiche meccaniche



DEFORMABILITA': EFFETTO DEI CARICHI CICLICI



DEFORMAZIONE DIFFERITA: FLUAGE



$$d\varepsilon_{viscosa} = \frac{\sigma(t)}{E_C} \varphi(t, \tau) d\tau$$

$$\varepsilon_v(t) = \int_{t_1}^t \frac{\sigma}{E_C} \varphi(t, \tau) d\tau$$

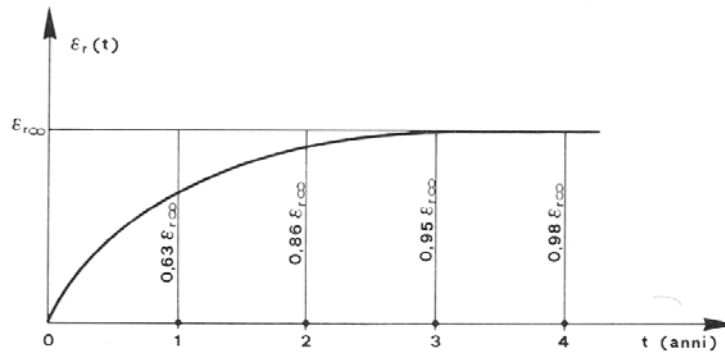
$$\varepsilon_t(t) = \varepsilon_c(t) + \int_{t_1}^t \frac{\sigma}{E_C} \varphi(t, \tau) d\tau$$

$$\varphi(t, \tau) = \alpha\beta e^{-\beta(t-\tau_0)} = \varphi(\tau)$$

Nucleo ereditario o memoria (del calcestruzzo)



DEFORMAZIONE DIFFERITA: RITIRO



$$\varepsilon_r(t) = \varepsilon_{r\infty} (1 - e^{-\gamma t})$$

L'ACCIAIO



## IL CEMENTO ARMATO

BARRE TONDE LISCE

TIPO DI ACCIAIO		Fe B 22 k	Fe B 32 k
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$ N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≥ 215 [≥ 22]	≥ 315 [≥ 32]
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$ N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≥ 335 [≥ 34]	≥ 490 [≥ 50]
Allungamento $A_5$	%	≥ 24	≥ 23
Piegamento a 180° su mandrino avente diametro	D	2 Ø	3 Ø

BARRE AD ADERENZA  
MIGLIORATA

TIPO DI ACCIAIO		Fe B 38 k	Fe B 44 k
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≥ 375 [≥ 38]	≥ 430 [≥ 44]
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≥ 450 [≥ 46]	≥ 540 [≥ 55]
Allungamento $A_5$	%	≥ 14	≥ 12
Piegamento a 180° su mandrino avente diametro D			
	fino a 12 mm		
Per barre ad aderenza migliorata aventi Ø (*)	oltre 12 mm fino a 18 mm	3 Ø	4 Ø
	oltre 18 mm fino a 25 mm	6 Ø	8 Ø
	oltre 25 mm fino a 30 mm	8 Ø	10 Ø
		10 Ø	12 Ø

CONTROLLI SULL'ACCIAIO  
D.M. 9-01-1996 – Allegato 4



## PROVE DI QUALIFICAZIONE

Le modalità di seguito riportate sono relative ai CONTROLLI IN STABILIMENTO

La documentazione riguardante le prove di qualificazione deve essere riferita ad una produzione consecutiva relativa ad un periodo di tempo di almeno sei mesi

PRELIEVO (DA PARTE DI UN LABORATORIO UFFICIALE) senza preavviso presso lo stabilimento di produzione:

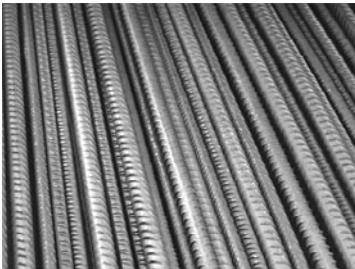
25 saggi, ricavati da 5 diverse colate o lotti di fabbricazione. 3 diametri diversi scelti nei seguenti gruppi: 5÷10 mm, 12÷18 mm, >18 mm. I fili di acciaio trafilato 5 ÷12 mm costituiscono un unico gruppo.

IL LABORATORIO UFFICIALE effettua prove:

di trazione:  $f_t$  (snervamento),  $f_y$  (rottura),  $f_t/f_y$ , A (allungamento)  
di piegamento



## IL DIAMETRO EQUIVALENTE



$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

d=?

barra liscia = diametro geometrico

barra ad aderenza migliorata = diametro equivalente

È IL DIAMETRO DI UNA BARRA IDEALE CHE HA LO STESSO PESO PER UNITÀ DI LUNGHEZZA DI QUELLA REALE

Tondino reale ( $d_{nom.}$ )  
L = 1.00 m, peso = P

Tondino equivalente : L = 1.00 m  $\rightarrow V_{equiv.} = \frac{\pi \cdot d_{equiv.}^2}{4} L$

equipesante =>

$$P = V_{equiv.} \cdot \gamma_{acciaio} \rightarrow d_{equiv.} (\gamma_{acciaio} = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$$



## SNERVAMENTO

$$f_{ymn} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{yi}}{n}$$

$$s_{yn} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{yi} - f_{ymn})^2}{n-1}}$$

$$f_{yk} = f_{ymn} - k \cdot s_{yn}$$

## ROTTURA

$$f_{tmn} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ti}}{n}$$

$$s_{tn} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ti} - f_{tmn})^2}{n-1}}$$

$$f_{tk} = f_{tmn} - k \cdot s_{tn}$$



## PROVE DI VERIFICA DELLA QUALITA'

Effettuazione di controlli saltuari ad intervalli non superiore ad 1 mese.

Occorre prelevare 3 serie di 5 campioni, costituite ognuna da 5 barre di uno stesso diametro scelto entro ciascuno dei gruppi di diametri prima definiti e provenienti da una stessa colata.

Su tali campioni si misura sia la resistenza che la duttilità.

Si calcolano le grandezze medie e quelle caratteristiche.

INDICAZIONI E PRESCRIZIONI VENGONO FORNITE NEL CASO IN CUI I  
RISULTATI DELLE PROVE DOVESSERO AVERE ESITO NEGATIVO

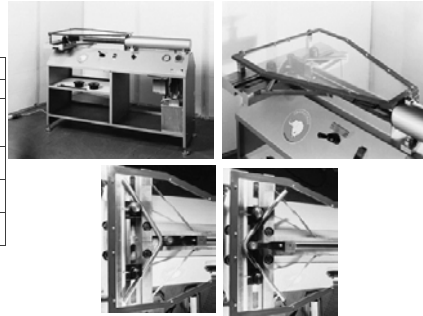


## PROVE DI PIEGAMENTO

Questo test è specifico per i tondini da calcestruzzo; lo scopo è di verificare che questi presentino sufficiente duttilità per le operazioni di formatura a freddo. Gli angoli di piega e di raddrizzamento, le raggiature degli utensili e le distanze tra gli appoggi sono funzione del diametro della barra, del tipo di superficie e della qualità dell'acciaio.

La prova di piegamento e raddrizzamento si esegue alla temperatura di  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  piegando la provetta a  $90^\circ$ , mantenendola poi per 30 minuti in acqua bollente e procedendo, dopo raffreddamento in aria, al parziale raddrizzamento per almeno  $20^\circ$ . Dopo la prova il campione non deve presentare cricche.

Tipo di acciaio			Fe B 38 k	Fe B 44 k
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$			$\geq 375$	$\geq 430$
Per barre ad aderenza migliorata aventi $\varnothing$ ( $^{\circ}$ ):	fino a 12 mm	Piegamento a $180^\circ$ su mandrino avente diametro $D$	3 $\varnothing$	4 $\varnothing$
	oltre 12 mm		6 $\varnothing$	8 $\varnothing$
	fino a 18 mm	Piegamento e raddrizzamento su mandrino avente diametro $D$	8 $\varnothing$	10 $\varnothing$
	oltre 18 mm		8 $\varnothing$	10 $\varnothing$
	fino a 25 mm		10 $\varnothing$	12 $\varnothing$
oltre 25 mm				
fino a 30 mm				

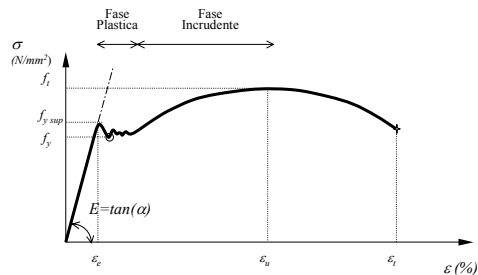


## PARAMETRI MECCANICI

### PARAMETRI

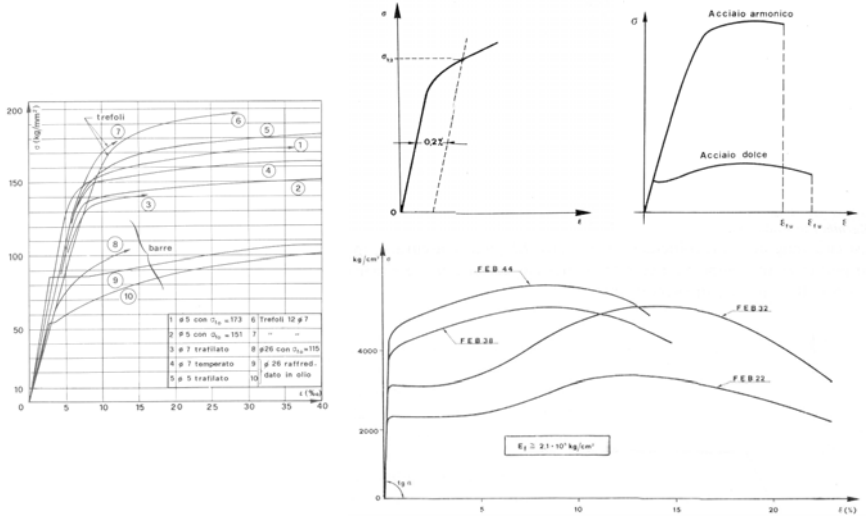
- Resistenza allo snervamento  $f_y$ ;
- Resistenza a rottura  $f_t$  o  $f_u$ ;
- Modulo di elasticità normale  $E$ ;
- Allungamento percentuale a rottura  $\epsilon_r$ ;
- Strizione percentuale a rottura  $S_r$ .

### RISPOSTA ACCIAI DOLCI

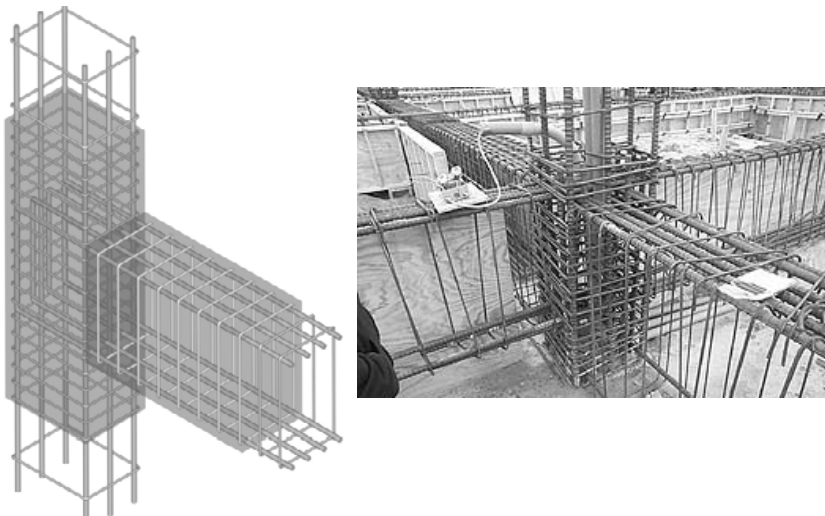




### I DIVERSI TIPI DI ACCIAIO



### DISPOSIZIONE DELLE ARMATURE



## IL QUADRO NORMATIVO



### SULLE COSTRUZIONI IN C.A.

#### NAZIONALI

- Decreti ministeriali (c.a., c.a.p., acciaio, muratura)
- Circolari applicative (costruzioni in zone sismiche)

#### INTERNAZIONALI (EUROCODICI)

- EC1: CRITERI DI PROGETTO ED AZIONI SULLE STRUTTURE
- EC2: PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO
- EC8: INDICAZIONI DI PROGETTO PER LE STRUTTURE ANTISISMICHE

THE END