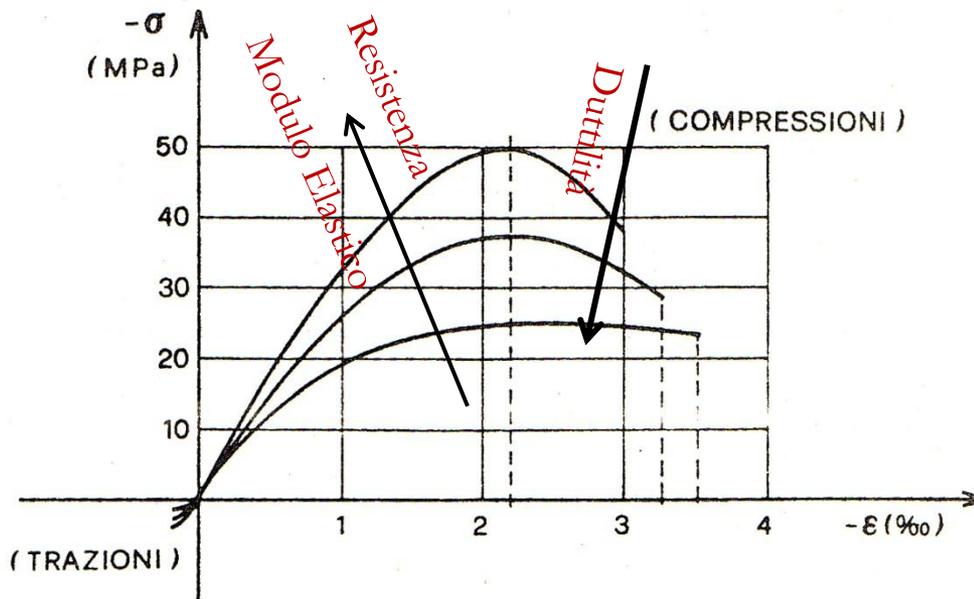


IL CALCESTRUZZO

Proprietà di base

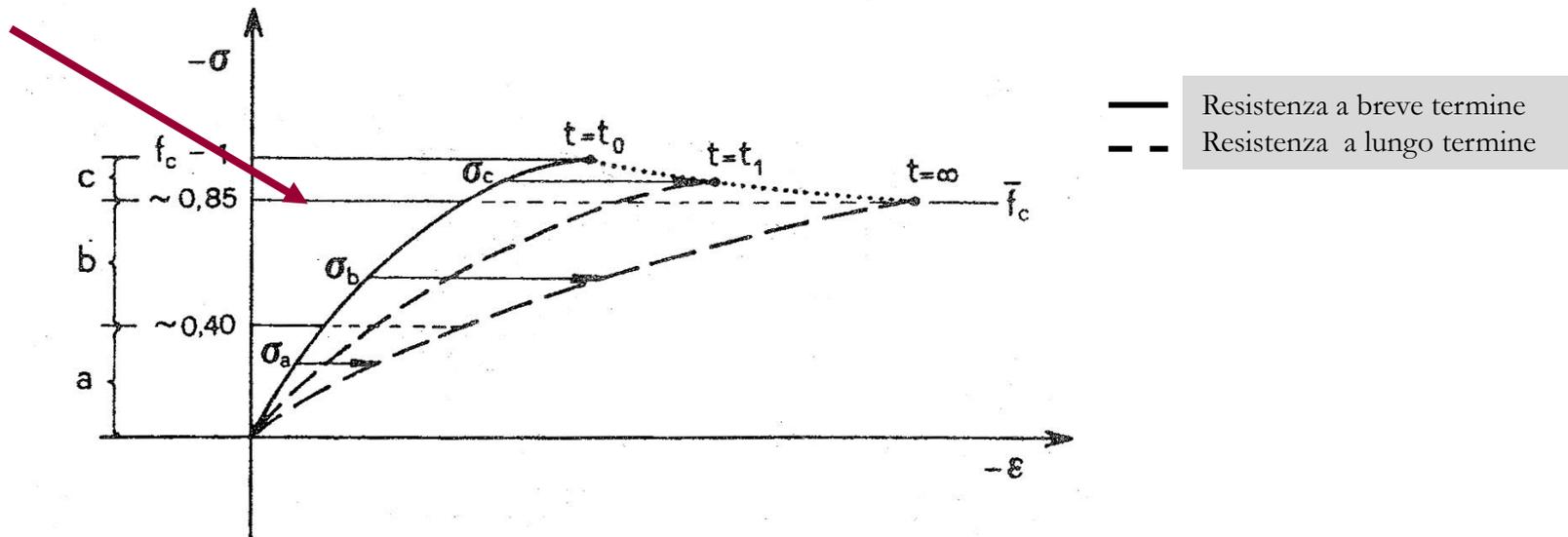
- Comportamento diverso a trazione e compressione con resistenza a compressione molto più elevata di quella a trazione
- Comportamento non lineare già a partire da bassi valori delle tensioni
- Deformazioni a rottura ridotte e rotture fragili
- Modulo Elastico iniziale diverso a seconda della resistenza del materiale



IL CALCESTRUZZO

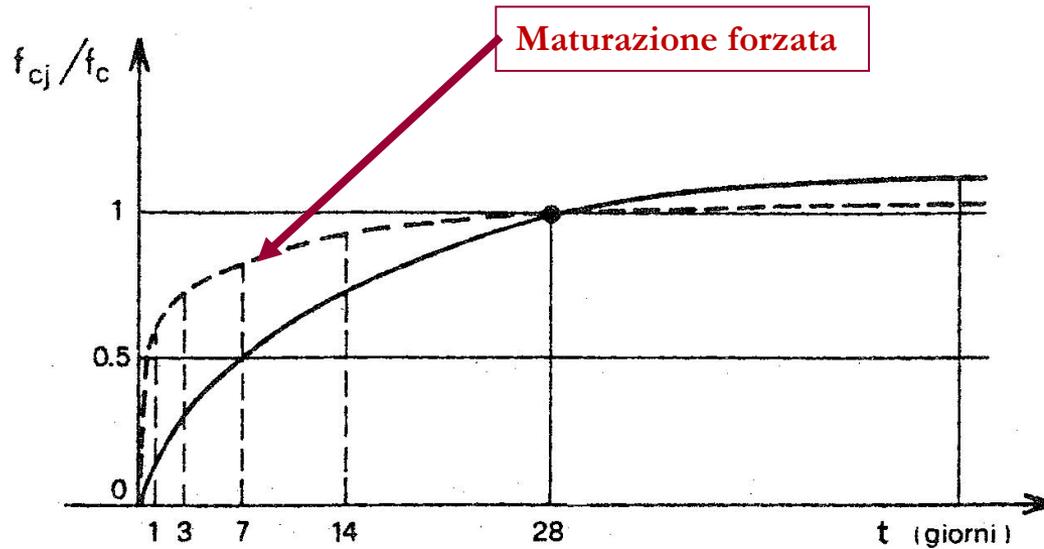
Resistenza a compressione a breve e lungo termine

- **Stadio "a"**: Basse tensioni, fino a circa lo 0.4 della resistenza del materiale, il calcestruzzo presenta un trascurabile fenomeno fessurativo ed il comportamento si può ritenere elastico lineare
- **Stadio "b"**: Propagazione delle fessure: comportamento non lineare
- **Stadio "c"**: Propagazione instabile delle fessure e rottura del materiale per tensioni elevate, superiori allo 0.85 della resistenza del materiale
- **Comportamento viscoso**: La resistenza del materiale a tempo infinito è pari a 0.85 volte la resistenza a breve termine.



IL CALCESTRUZZO

- f_c = Resistenza del calcestruzzo a 28 giorni di indurimento
- f_{cj} = Resistenza del calcestruzzo misurata al giorno j



$$f_{cj} = e^{\beta \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\tau}}\right)} f_c \quad \tau = \frac{t}{28} \quad E_{cj} = \sqrt{\beta \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\tau}}\right)} E_c$$

β = Coefficiente legato alla velocità di sviluppo della resistenza, dipendente dal tipo di cemento impiegato

Per cementi normali $\beta=0.25$

In caso di maturazione forzata $\beta=0.1$

I MATERIALI

ETA' DI MATURAZIONE	RESISTENZE				MODULI			
	MATURAZIONE FORZATA (VALORI INDICATIVI)	CEMENTO			MATURAZIONE FORZATA (VALORI INDICATIVI)	CEMENTO		
		A RAPIDO INDURIMENTO	A NORMALE INDURIMENTO	A LENTO INDURIMENTO		A RAPIDO INDURIMENTO	A NORMALE INDURIMENTO	A LENTO INDURIMENTO
Giorni	$\beta = 0.10$	$\beta = 0.20$	$\beta = 0.25$	$\beta = 0.38$	$\beta = 0.10$	$\beta = 0.20$	$\beta = 0.25$	$\beta = 0.38$
.59	0.55	0.31	0.23	0.11	0.74	0.55	0.48	0.33
1	0.65	0.42	0.34	0.20	0.81	0.65	0.58	0.44
2	0.76	0.58	0.50	0.35	0.87	0.76	0.71	0.59
3	0.81	0.66	0.60	0.46	0.90	0.81	0.77	0.68
4	0.85	0.72	0.66	0.54	0.92	0.85	0.81	0.73
5	0.87	0.76	0.71	0.59	0.93	0.87	0.84	0.77
6	0.89	0.79	0.75	0.64	0.94	0.89	0.86	0.80
7	0.90	0.82	0.78	0.68	0.95	0.90	0.88	0.83
10	0.93	0.87	0.85	0.77	0.97	0.93	0.92	0.88
14	0.96	0.92	0.90	0.85	0.98	0.96	0.95	0.92
21	0.98	0.97	0.96	0.94	0.99	0.98	0.98	0.97
28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60	1.03	1.07	1.08	1.13	1.02	1.03	1.04	1.06
90	1.05	1.09	1.12	1.18	1.02	1.05	1.06	1.09
180	1.06	1.13	1.16	1.26	1.03	1.06	1.08	1.12
365	1.07	1.16	1.20	1.32	1.04	1.07	1.09	1.15
∞	1.11	1.22	1.28	1.46	1.05	1.11	1.13	1.21

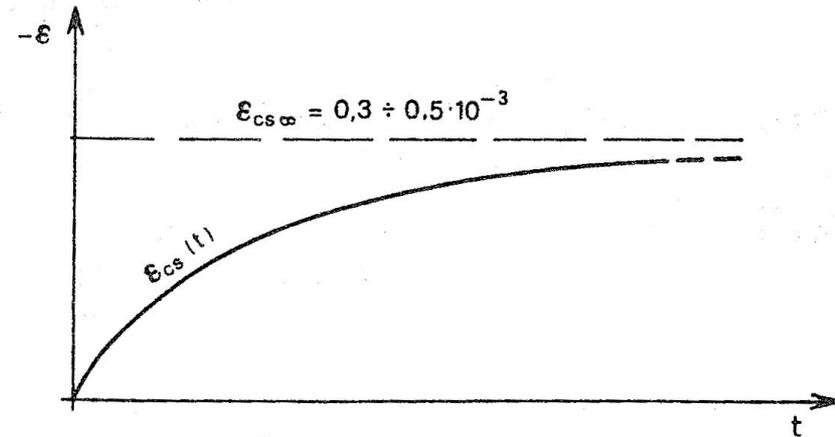
 f_{cj}/f_c
 E_{cj}/E_c

IL Ritiro

Il calcestruzzo durante i primi tempi si contrae diminuendo di volume.

Il ritiro del calcestruzzo dipende da:

- Umidità dell'ambiente
- Dimensioni dell'elemento
- Tipo di calcestruzzo utilizzato



La deformazione totale da ritiro è data dalla somma di due contributi:

- RITIRO AUTOGENO**
- RITIRO DA ESSICCAMENTO**

Il ritiro autogeno si verifica in seguito alla maturazione del calcestruzzo e, pertanto, si manifesta immediatamente dopo il getto

Il ritiro da essiccamento è dovuto alla migrazione delle particelle d'acqua all'interno della pasta cementizia indurita e si manifesta nel tempo.

Lavorabilità

Consente un totale riempimento delle casseformi, un totale conglobamento delle armature ed un buon costipamento

Lavorabilità



Consistenza

La consistenza del calcestruzzo verrà determinata mediante la prova di abbassamento al cono di Abrams (*Slump Test*), conformemente a UNI 12350-2:2001, o mediante il metodo Vebé, conformemente a UNI EN 12350-3:2001, o mediante prova di spandimento, conformemente a UNI EN 12350-5:2001, o indice di compattabilità in accordo con UNI EN 12350-4:2001, o ancora mediante un metodo di prova alternativo da convenire

I MATERIALI

Slump test



I MATERIALI

Slump test



Slump test



Classe	Slump in mm
S1 (umida)	Da 10 a 40
S2 (plastica)	Da 50 a 90
S3 (semifluida)	Da 100 a 150
S4 (fluida)	/160
Lo slump misurato deve essere arrotondato ai 10 mm più prossimi	

I MATERIALI

Prova di spandimento



I MATERIALI

Prova di spandimento



I MATERIALI

Prova di spandimento



Prova di spandimento

Classe di consistenza	Spandimento (mm)
FB1	≤ 340
FB2	da 350 a 410
FB3	da 420 a 480
FB4	da 490 a 550
FB5	da 560 a 620
FB6	≥ 620

CLASSI DI RESISTENZA

- Il **parametro guida** del calcestruzzo è la sua resistenza a compressione.
- In funzione del valore della resistenza caratteristica cilindrica/cubica a compressione uniassiale ,vengono definite le classi di resistenza

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

Tabella 4.1.II – Impiego delle diverse classi di resistenza

STRUTTURE DI DESTINAZIONE	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA
Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11)	C8/10
Per strutture semplicemente armate	C16/20
Per strutture precomprese	C28/35

RESISTENZA A COMPRESSIONE



RESISTENZA A COMPRESSIONE



Valore di calcolo della resistenza a compressione

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [\text{N/mm}^2]$$

f_{ck} = Valore caratteristico della resistenza cilindrica a compressione a 28 giorni

α_{cc} = Coefficiente riduttivo per le resistenze a lunga durata

$$\gamma_c = 1.5$$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

Valore di calcolo della resistenza a trazione

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq \text{C50/60}$$

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

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$$

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

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

$$\gamma_c = 1.5$$

LEGAME COSTITUTIVO PARABOLA-RETTANGOLO

$$\sigma_c = \frac{2f_{cd}}{\varepsilon_{c2}} \left(\varepsilon_c - \frac{\varepsilon_c^2}{2\varepsilon_{c2}} \right) \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$$

Valore di calcolo della resistenza

Classe di resistenza inferiore
o pari a C50/60

$$\varepsilon_{c2} = 0.002$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.003$$

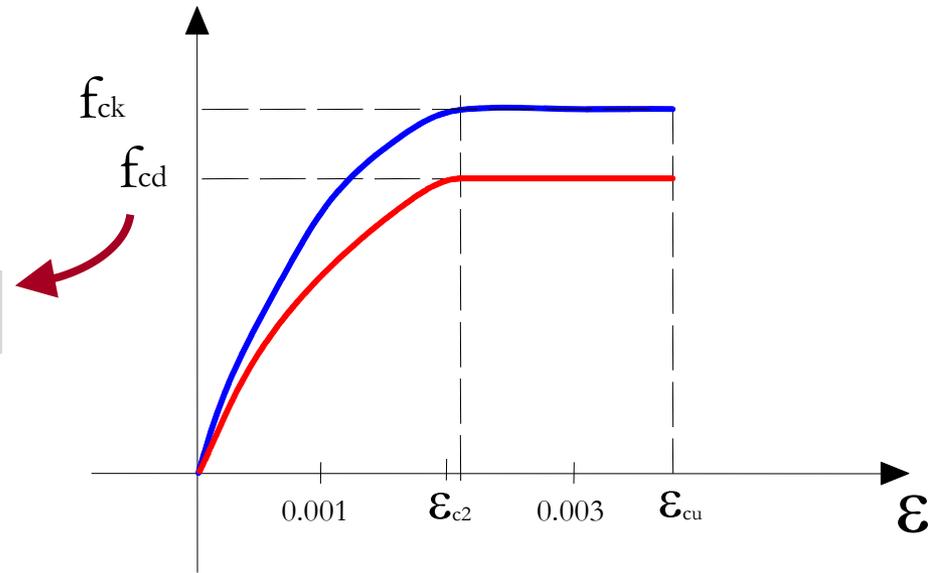
Classe di resistenza alta
> C50/60

$$\varepsilon_{c2} = 0,20\% + 0,0085\%(f_{ck} - 50)^{0,53}$$

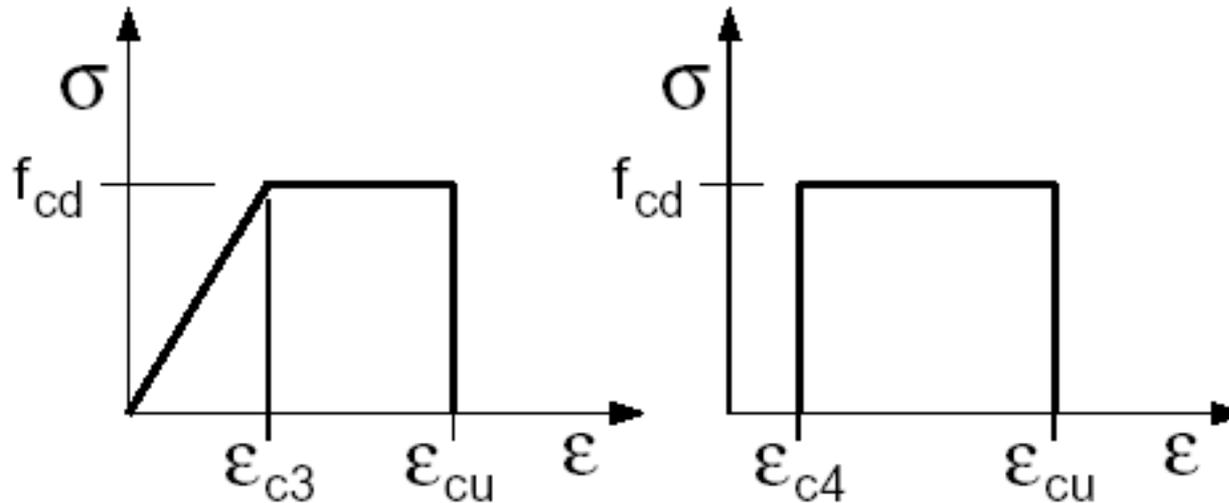
$$\varepsilon_{cu} = 0,26\% + 3,5\% \left[\frac{90 - f_{ck}}{100} \right]^4$$

Modulo Elastico: sia assume il modulo secante in corrispondenza di $0.4 f_{cm}$

$$E_c = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} \quad (\text{MPa})$$



LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DEL CALCESTRUZZO



- Diagramma triangolo-rettangolo
- Diagramma rettangolo (stress-block)

Classe di resistenza inferiore
o pari a C50/60

$$\epsilon_{c3} = 0,175\%$$

$$\epsilon_{c4} = 0,007\%$$

Classe di resistenza alta

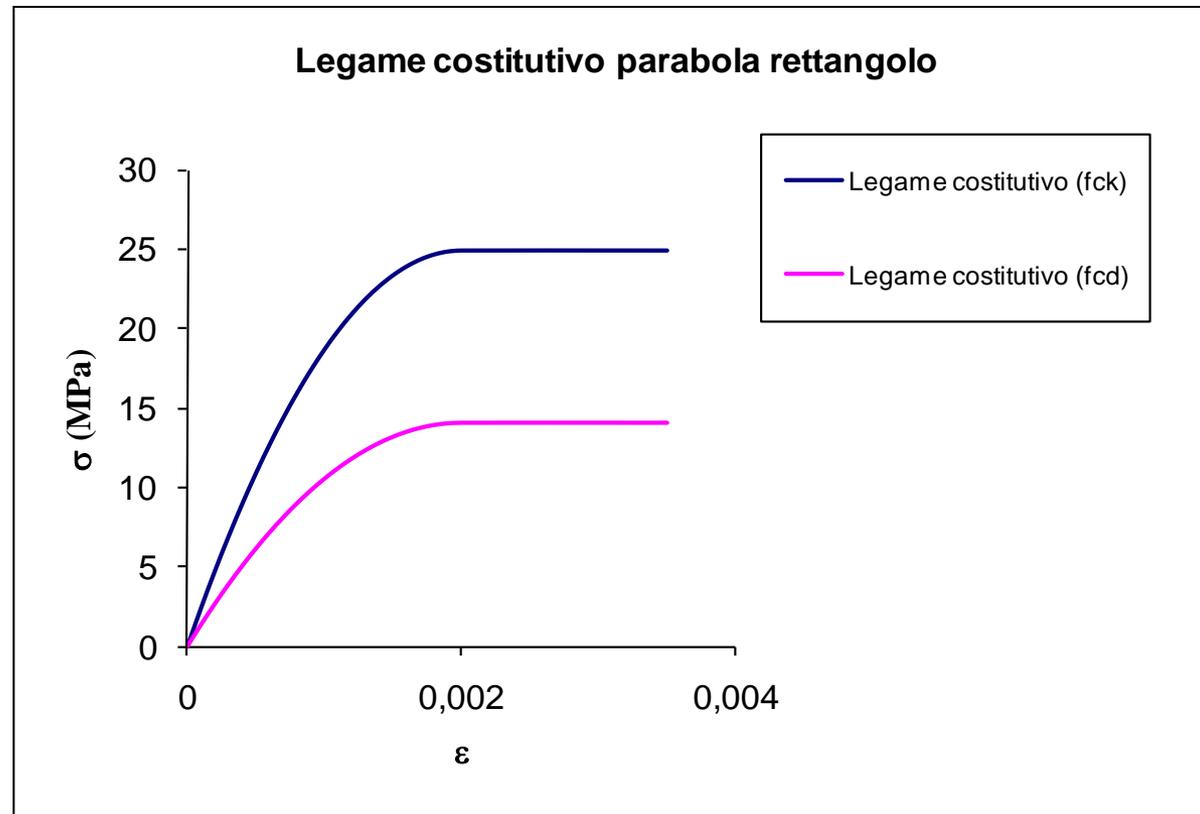
$$\epsilon_{c3} = 0,175\% + 0,055\% \left[\frac{f_{ck} - 50}{40} \right] \quad \epsilon_{c4} = 0,2 \cdot \epsilon_{cu}$$

LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DEL CALCESTRUZZO

C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 14.11 \text{ MPa}$$



$\epsilon_{c1} =$	0,002
$\epsilon_{cu} =$	0,0035

LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DEL CALCESTRUZZO

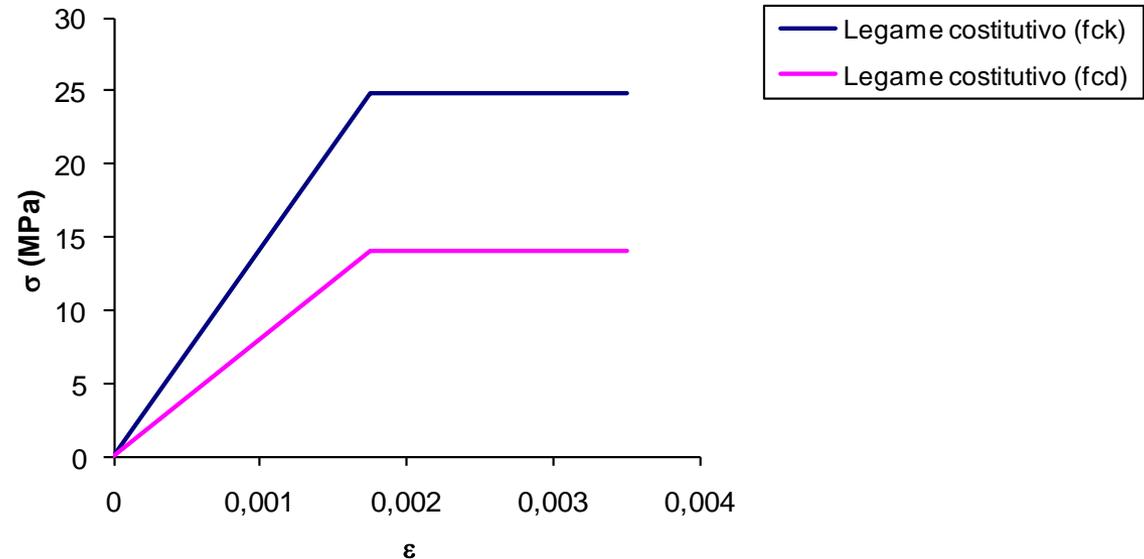
C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 14.11 \text{ MPa}$$

$\epsilon_{c3} =$	0,00175
$\epsilon_{cu} =$	0,0035

Legame costitutivo triangolo-rettangolo



LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DEL CALCESTRUZZO

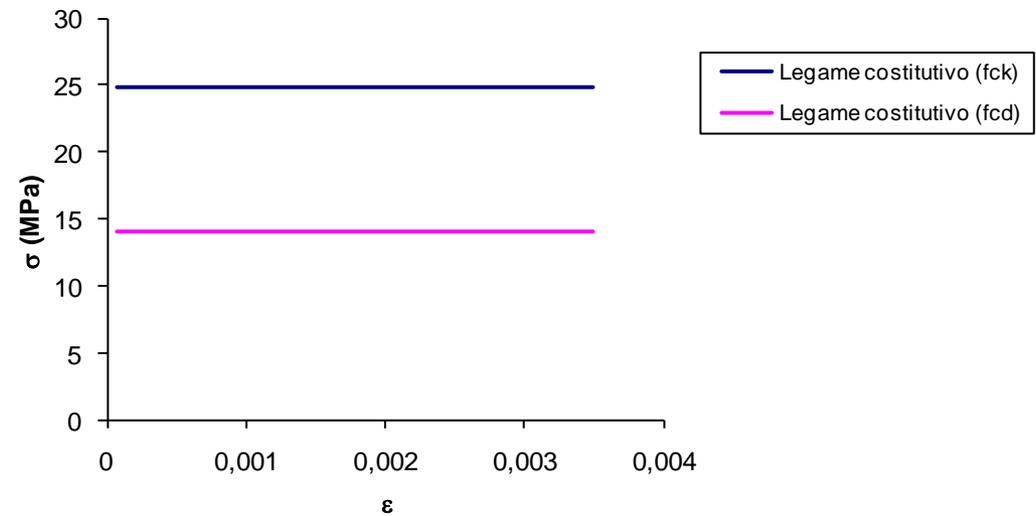
C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

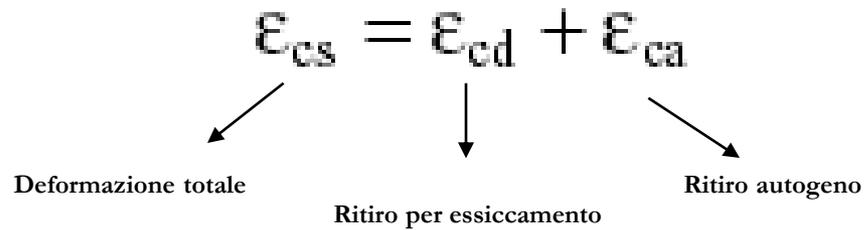
$$f_{cd} = 14.11 \text{ MPa}$$

$\epsilon_{c4} =$	0,00007
$\epsilon_{cu} =$	0,0035

Legame costitutivo rettangolo (stress-block)



Ritiro



Valore medio a tempo infinito della deformazione da ritiro per essiccamento:

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

Tabella 11.2.Va – Valori di ϵ_{c0}

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Tabella 11.2.Vb – Valori di k_h

h_0 (mm)	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

$$h_0 = 2A_c/u$$

A_c = Area della sezione trasversale

u = perimetro della sezione esposto all'aria

Ritiro

Variazione della deformazione da ritiro di essiccamento nel tempo:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t - t_s) \cdot \varepsilon_{cd,\infty}$$
$$\beta_{ds}(t - t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0,04 h_0^{3/2}]$$

t = Età del calcestruzzo in giorni

t_s = Età del calcestruzzo a partire dalla quale si misura il ritiro per essiccamento (in genere a maturazione avvenuta)

$h_0 = 2A_c / u$

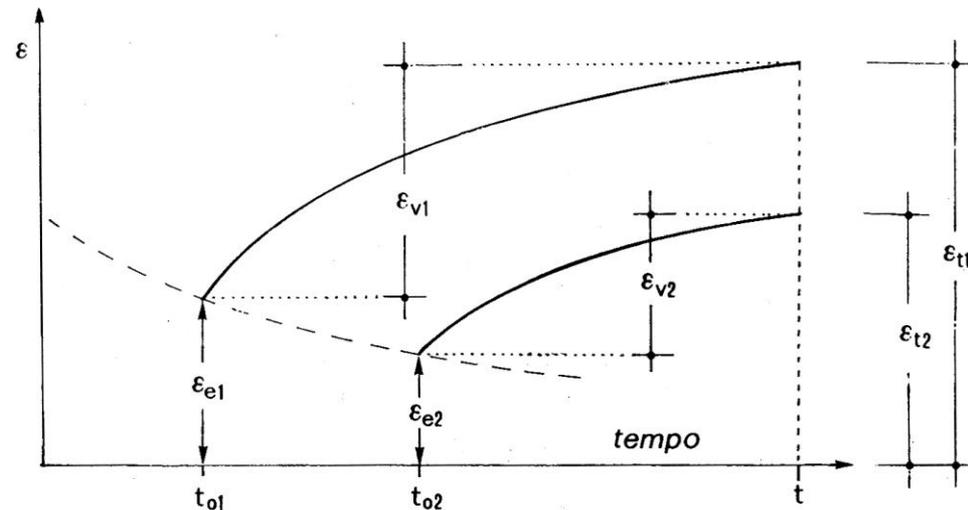
A_c = Area della sezione trasversale

u = perimetro della sezione esposto all'aria

Deformazione a tempo infinito da ritiro autogeno:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad \text{con } f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

Viscosità



Se la tensione nel calcestruzzo al tempo ($t_0=j$) di messa in carico è inferiore a $0.45 f_{ckj}$, il coefficiente di viscosità a tempo infinito è:

Tabella 11.2.VI – Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
≥ 60 giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

Tabella 11.2.VII - Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
≥ 60 giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

CALCESTRUZZO AD ALTA RESISTENZA MECCANICA



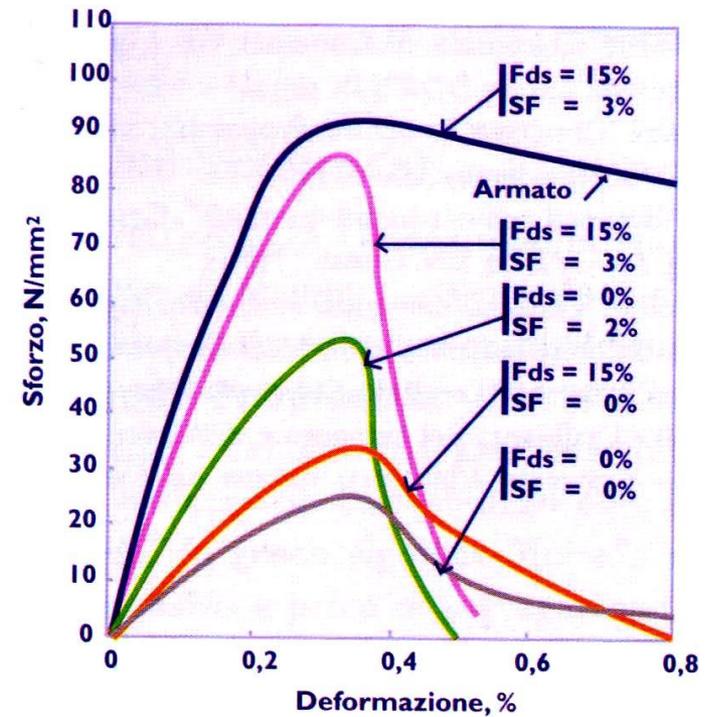
Grande Arche di Parigi



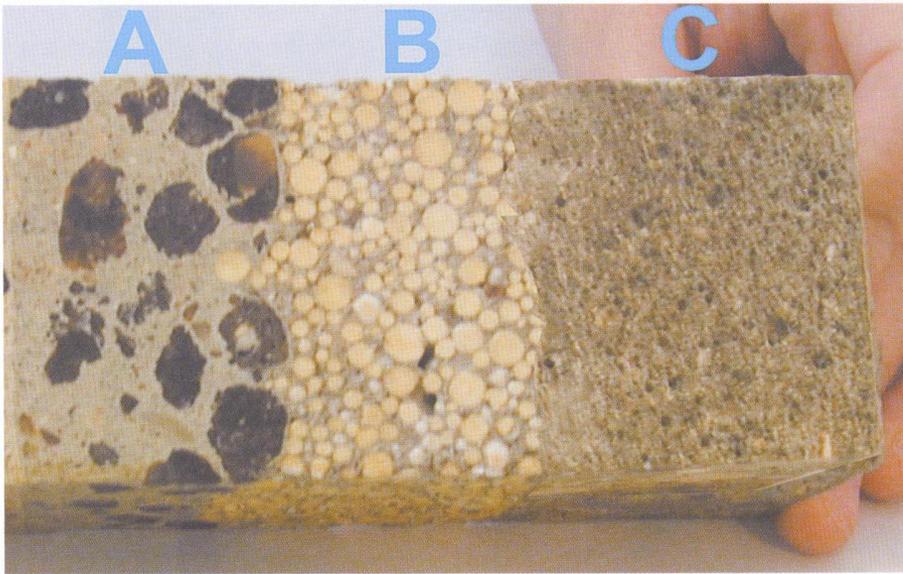
Grattacielo a Chicago

F_{ds} = fumo di silice

SF = superfluidificante



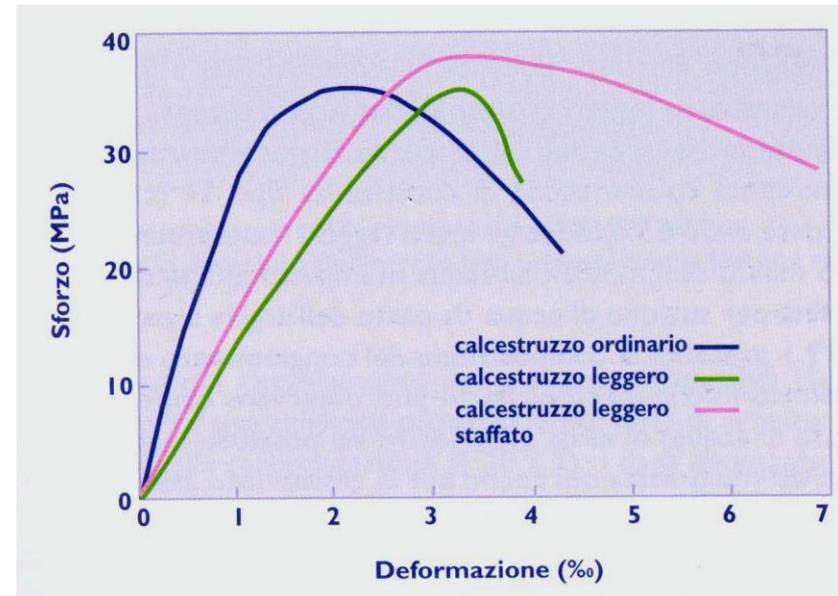
CALCESTRUZZO LEGGERO STRUTTURALE



A: calcestruzzo con inerti di argilla espansa

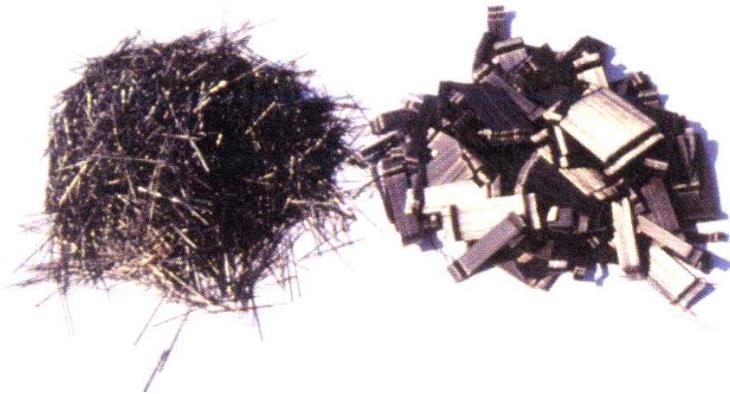
B: calcestruzzo con granuli di polistirolo

C: calcestruzzo alveolare con bolle d'aria

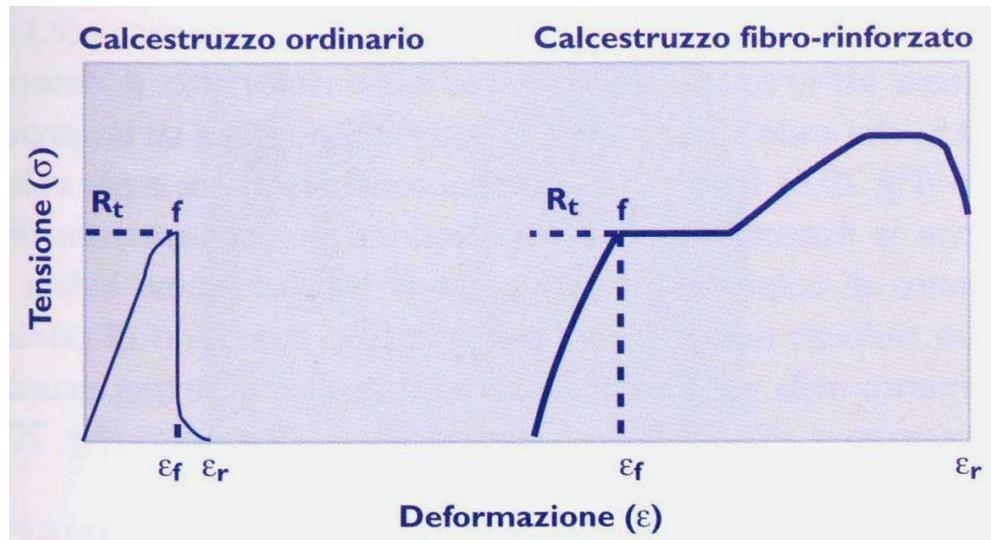


CALCESTRUZZO FIBRO-RINFORZATO

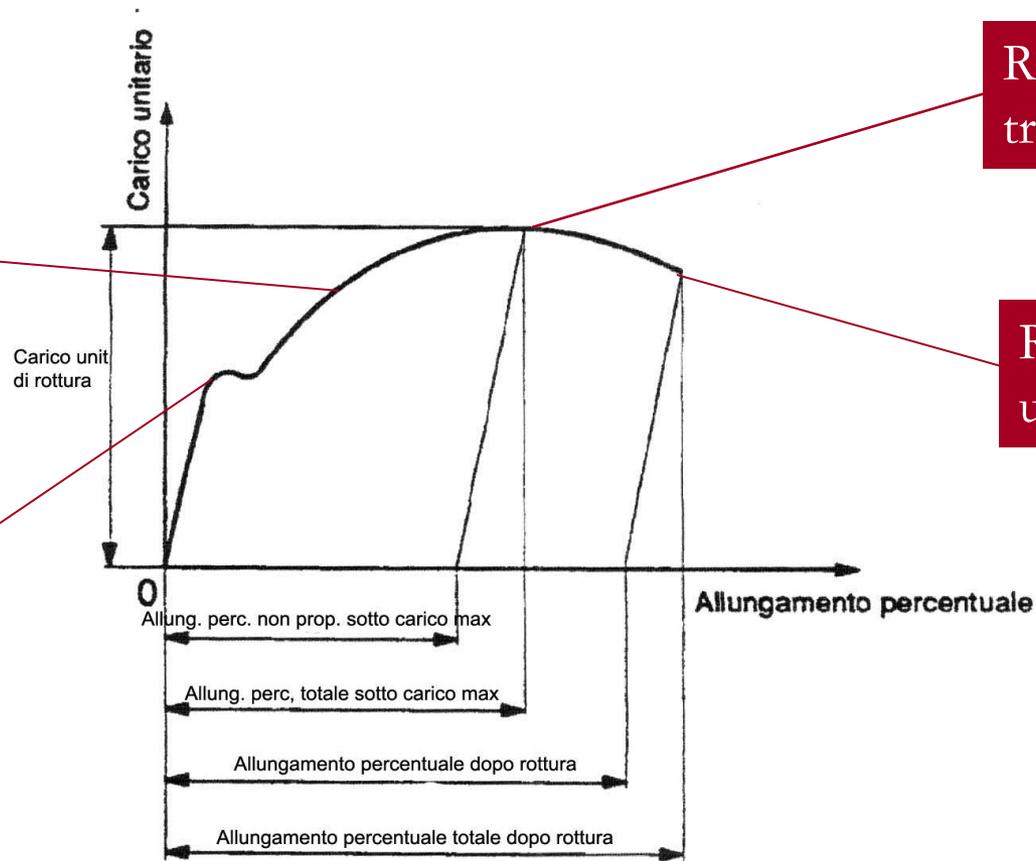
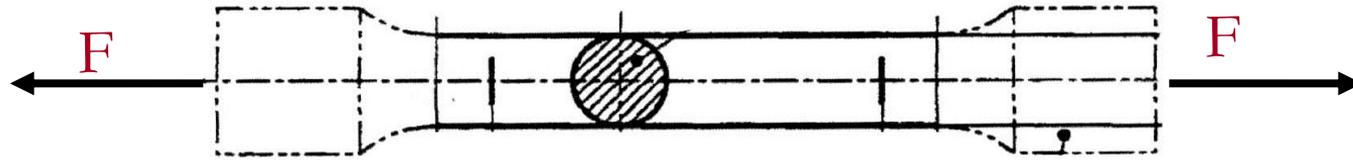
ACCIAIO



POLIPROPILENE



Acciaio da c.a.



Tratto
incrudente

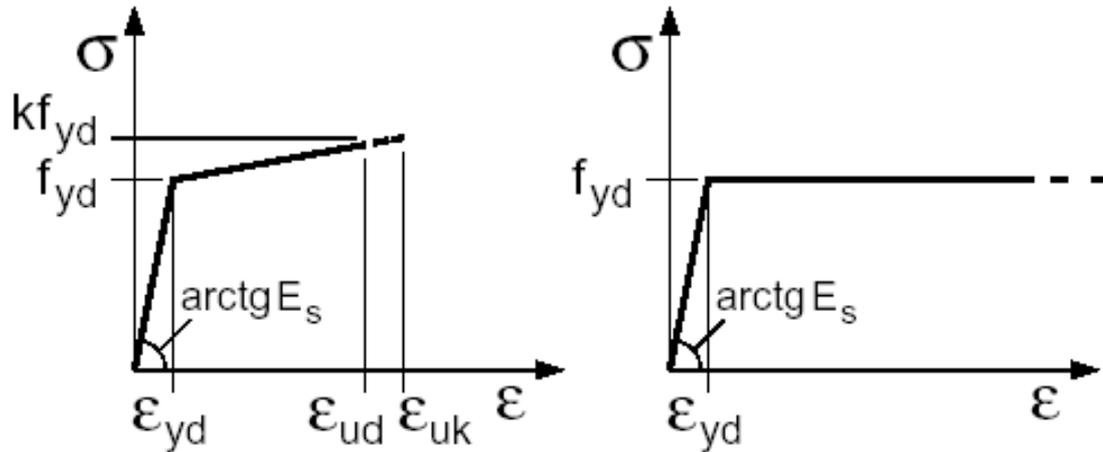
Tensione di
snervamento,
 f_y

Resistenza a
trazione, f_t

Resistenza
ultima

LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DELL'ACCIAIO

$$k = (f_t / f_y)_k$$



$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \rightarrow \varepsilon_s \leq \varepsilon_{yd}$$

$$\sigma_s = (\varepsilon_s - \varepsilon_{yd}) E_h + f_{yd} \rightarrow \varepsilon_{yd} < \varepsilon_s < \varepsilon_{ud}$$

$$\varepsilon_{ud} = 0.9 \varepsilon_{uk}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$\gamma_s = 1.15$$

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \rightarrow \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}$$

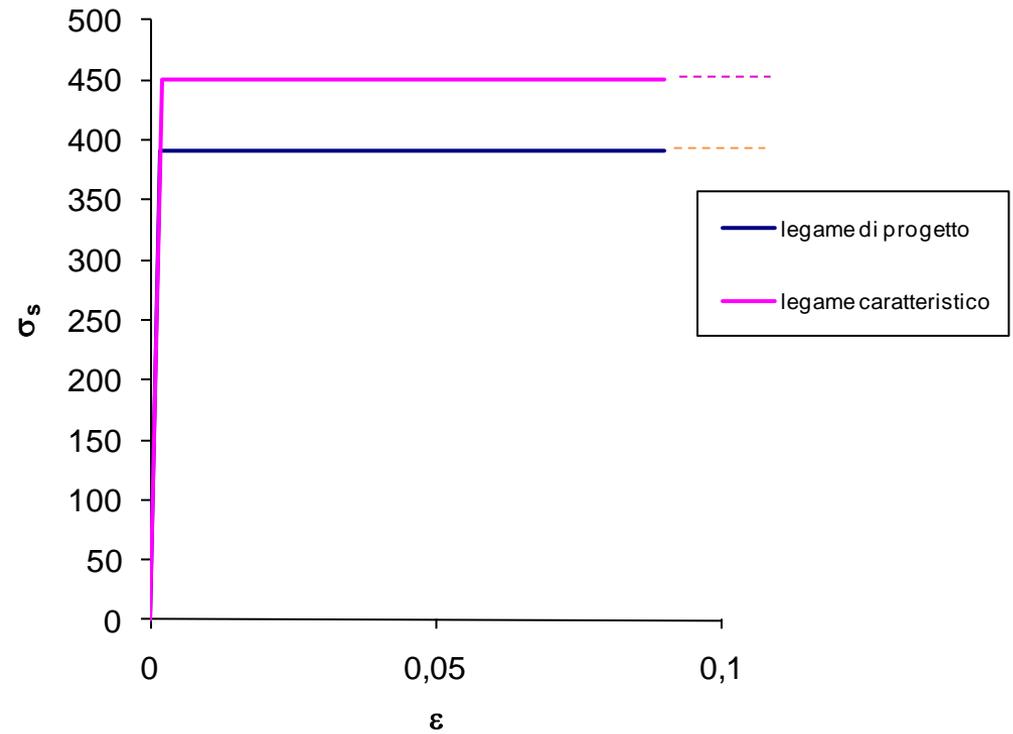
$$\sigma_s = f_{yd} \rightarrow \varepsilon_s > \varepsilon_{sy}$$

$$\varepsilon_{ud} = \infty$$

LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DELL'ACCIAIO

B450C

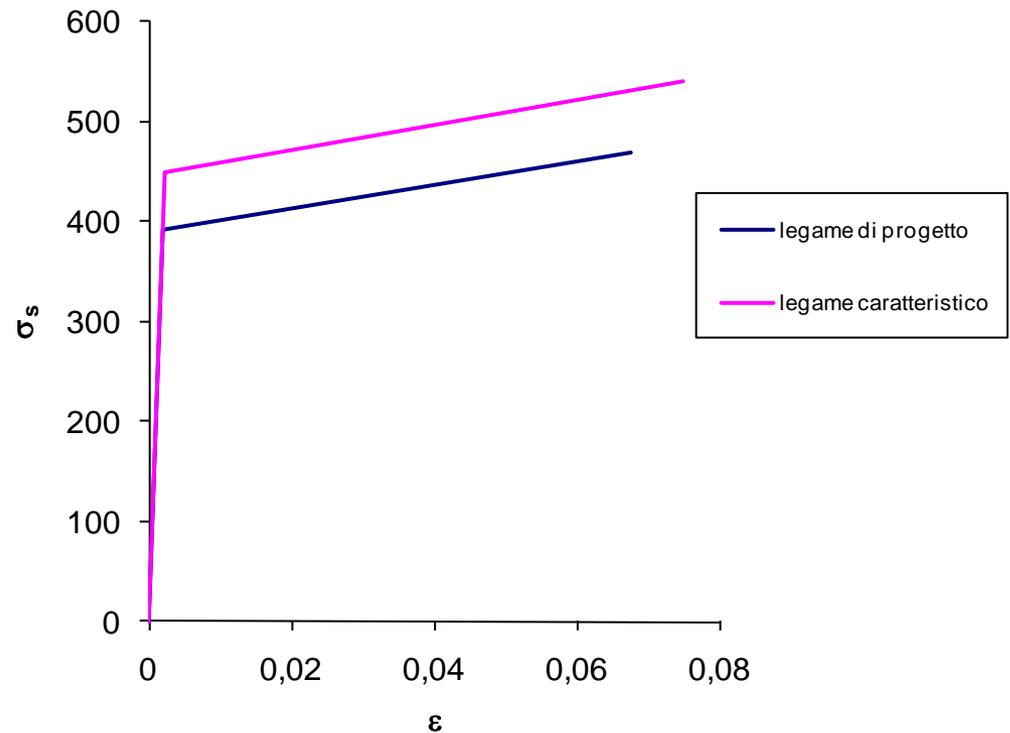
$f_{yk} =$	450
$f_{yd} =$	391,30



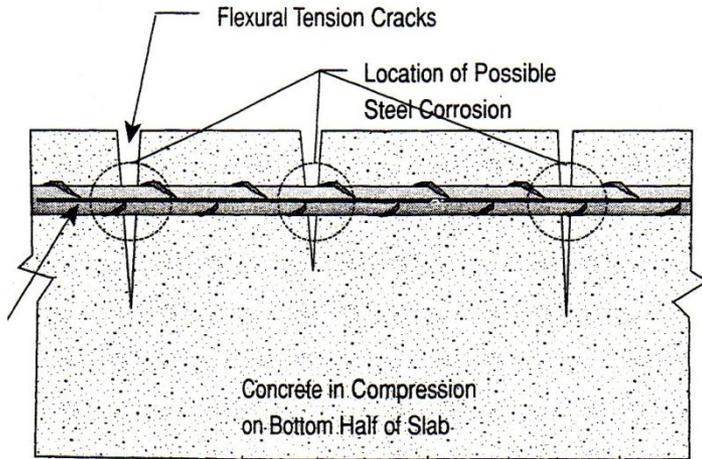
LEGAME COSTITUTIVO DI CALCOLO DELL'ACCIAIO

B450C

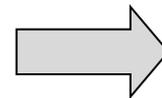
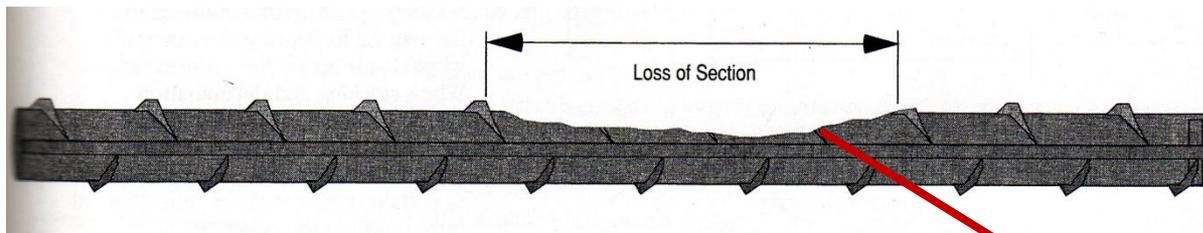
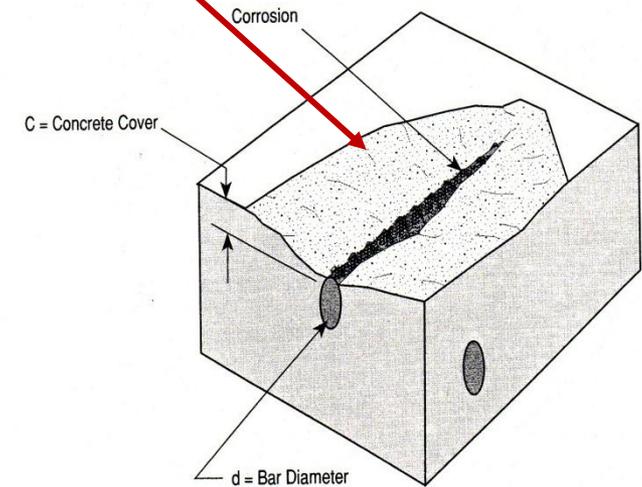
$f_{yk} =$	450
$f_{yd} =$	391,30
$f_{tk} =$	540
$f_{td} =$	469,5652
$\varepsilon_{yd} =$	0,001863
$\varepsilon_{yk} =$	0,002143
$(A_{gt})_k =$	0,05
$\varepsilon_{ud} =$	0,045



La durabilità



Spalling del copriferro
Perdita di aderenza



SLU ?

Riduzione significativa del quantitativo di armatura

La durabilità

- Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in **ordinarie**, **aggressive** e **molto aggressive** in relazione a quanto qui indicato con riferimento alle **classi di esposizione**.

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

rif. tabella 4.1.III delle NTC 14/01/2008.

I MATERIALI

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO TECNICO CENTRALE

LINEE GUIDA SUL CALCESTRUZZO STRUTTURALE

Classi di esposizione in funzione delle condizioni ambientali

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali (a titolo informativo)
<i>1 – Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco chimico</i>		
X0	Molto secco	Edifici con interni a umidità relativa molto bassa
<i>2 – Corrosione indotta da carbonatazione</i>		
XC1	Secco	Interni di edifici a bassa umidità relativa
XC2	Bagnato, raramente secco	Parti di strutture di contenimento liquidi; fondazioni
XC3	Umidità moderata	Edifici con interni a umidità relativa da moderata ad alta; calcestruzzo esterno riparato dalla pioggia
XC4	Ciclicamente secco e bagnato	Superfici soggette al contatto con acqua, non comprese nella classe XC2
<i>3 – Corrosione indotta dai cloruri</i>		
XD1	Umidità moderata	Superfici esposte a spruzzi diretti di acqua contenente cloruri
XD2	Bagnato, raramente secco	Piscine, calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente secco e bagnato	Parti di ponti, pavimentazioni, parcheggi per auto

I MATERIALI

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO TECNICO CENTRALE

LINEE GUIDA SUL CALCESTRUZZO STRUTTURALE

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali (a titolo informativo)
<i>4 – Corrosione indotta dai cloruri dell'acqua di mare</i>		
XS1	Esposto ad atmosfera salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture sulla costa o in prossimità di essa
XS2	Sommerso	Parti di strutture marine
XS3	Nella zona delle maree, nelle zone soggette a spruzzi	Parti di strutture marine
<i>5 – Attacco da cicli di gelo e disgelo</i>		
XF1	Grado moderato di saturazione in assenza di sali disgelanti	Superfici verticali esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Grado moderato di saturazione in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali di strutture stradali esposte a nebbie contenenti agenti disgelanti
XF3	Grado elevato di saturazione in assenza di sali disgelanti	Superfici orizzontali esposte alla pioggia ed al gelo
XF4	Grado elevato di saturazione in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali od orizzontali esposte a spruzzi di acqua contenente sali disgelanti
<i>6 – Attacco chimico</i>		
XA1	Aggressività debole (secondo Tab. 9)	
XA2	Aggressività moderata (secondo Tab. 9)	
XA3	Aggressività forte (secondo Tab. 9)	
da: Draft pr EN 206: 1996 - 15, CEN/TC 104		

I MATERIALI

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO TECNICO CENTRALE

LINEE GUIDA SUL CALCESTRUZZO STRUTTURALE

TABELLA 9

	GRADO DI ATTACCO		
	Debole	Moderato	Forte
<i>Agente aggressivo nelle acque</i>			
pH	6,5-5,5	5,5-4,5	4,5-4,0
CO ₂ aggressiva (mg CO ₂ /l)	15-30	30-60	60-100
Ioni ammonio (mg NH ₄ ⁺ /l)	15-30	30-60	60-100
Ioni magnesio (mg MG ²⁺ /l)	100-300	300-1500	1500-3000
Ioni solfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	200-600	600-3000	3000-6000
<i>Agente aggressivo nel terreno</i>			
Ioni solfato (mg SO ₄ ²⁻ /kg di terreno seccato all'aria)	2000-6000	6000-12000	> 12000

Quando l'ambiente è soggetto a cicli di gelo e disgelo, si prescrive, in aggiunta, l'uso di aggregati non gelivi e l'impiego di un aerante. L'introduzione di microbolle d'aria abbassa la resistenza meccanica potenziale dell'impasto ed a ciò si può ovviare modificando i rapporti di composizione, ovvero riducendo il rapporto a/c e/o aumentando il contenuto di cemento.

IL CALCESTRUZZO

Controllo di accettazione

Riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo durante l'esecuzione dell'opera, con prelievo effettuato contestualmente al getto dei relativi elementi strutturali.

Prove complementari

Sono prove che vengono eseguite, ove necessario, a complemento delle prove di accettazione.

Le prove di accettazione e le eventuali prove complementari, sono eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001

CLS – GLI OBBLIGHI DEL COSTRUTTORE - DM 14/01/2008

Il costruttore, prima dell'inizio della costruzione di un'opera, deve effettuare idonee prove preliminari di studio, per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni richieste dal progetto.

IL COSTRUTTORE RESTA COMUNQUE RESPONSABILE DELLA QUALITÀ DEL CALCESTRUZZO, CHE SARÀ CONTROLLATA DAL DIRETTORE DEI LAVORI

CLS – GLI OBBLIGHI DEL DIRETTORE DEI LAVORI - DM 14/01/2008

Ogni prelievo consiste nel raccogliere dagli impasti, **al momento della posa in opera ed alla presenza del Direttore dei Lavori o di persona di sua fiducia**, 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 calcestruzzo.*

Il prelievo dei provini per il controllo di accettazione va eseguito alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo e dispone l'identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc.; la certificazione effettuata dal laboratorio prove materiali deve riportare riferimento a tale verbale.

CLS – GLI OBBLIGHI DEL DIRETTORE DEI LAVORI - DM 14/01/2008

Il controllo di accettazione va eseguito su miscele omogenee e si configura, in funzione del quantitativo di calcestruzzo in accettazione, nel:

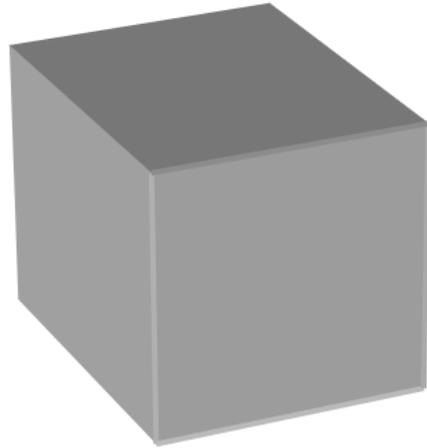
- controllo di tipo A di cui al § 11.2.5.1 (*riferito a 300 m³ di miscela omogenea*)
- controllo di tipo B di cui al § 11.2.5.2 (*>1500 m³ di miscela omogenea*)

Il controllo di accettazione è positivo ed il quantitativo di calcestruzzo accettato se risultano verificate le disuguaglianze di cui alla Tab. seguente:

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_l \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_m \geq R_{ck} + 3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_m \geq R_{ck} + 1,4 s$ (N° prelievi ≥ 15)
R_m = resistenza media dei prelievi (N/mm ²); R_l = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm ²); s = scarto quadratico medio.	

*Ai fini di un efficace controllo di accettazione di **Tipo A**, è evidentemente necessario che il numero dei campioni prelevati e provati sia non inferiore a **sei (tre prelievi)**, anche per getti di quantità INFERIORE a 100 m³ di miscela omogenea.*

CLS – GLI OBBLIGHI DEL DIRETTORE DEI LAVORI - DM 14/01/2008



150 x 150 x 150 mm

Il cubetto si prepara in apposite casseformi (**NON DI POLISTIROLO!**) e deve essere costipato per ottenere la massima densità dell'impasto.

Tale operazione può essere eseguita o tramite vibrazione o tramite un tondino di ferro usato per omogeneizzare energicamente l'impasto.

Il buon confezionamento e la conservazione del cubetto dopo la fase di presa in ambienti a ca. 20° sono fondamentali per l'adeguata stagionatura del provino.

N.B. OGNI PRELIEVO È COMPOSTO DA N. 2 CUBETTI

CLS – FACOLTÁ DEL DIRETTORE DEI LAVORI - DM 14/01/2008

11.2.6 CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Nel caso in cui le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza determinati nel corso della qualificazione della miscela, oppure si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo precedentemente messo in opera, si può procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso una serie di prove sia distruttive che non distruttive.

TALI PROVE NON DEVONO, IN OGNI CASO, INTENDERSI SOSTITUTIVE DEI CONTROLLI DI ACCETTAZIONE.

PROVE COMPLEMENTARI

Quando si rende necessario valutare la resistenza a compressione del conglomerato (calcestruzzo) in opere già realizzate si possono scegliere due tipologie di indagine:

Prove distruttive su campioni estratti dalla struttura in servizio

Prove non distruttive su particolari regioni della struttura

Le prove distruttive richiedono operazioni di taglio eseguite con sonde a corona diamantata (carotatrici) o con seghe a disco. Questo procedimento è volto a ottenere campioni di forma e dimensioni analoghe a quelle prescritte per i provini realizzati in fase di getto (UNI EN 12504-1)

Questa pratica può risultare talvolta sconveniente o impossibile; in tali casi è necessario operare con metodi di tipo indiretto secondo metodologie di indagini non distruttive:

ULTRASUONI

BATTUTE SCLEROMETRICHE

METODO COMBINATO SONREB

I MATERIALI

Prove distruttive su campioni estratti dalla struttura in servizio
(Carotaggio)



Prove distruttive su campioni estratti dalla struttura in servizio

La resistenza misurata sulle carote risente di numerosi fattori che la differenziano da quella che si misurerebbe su un equivalente provino standard:

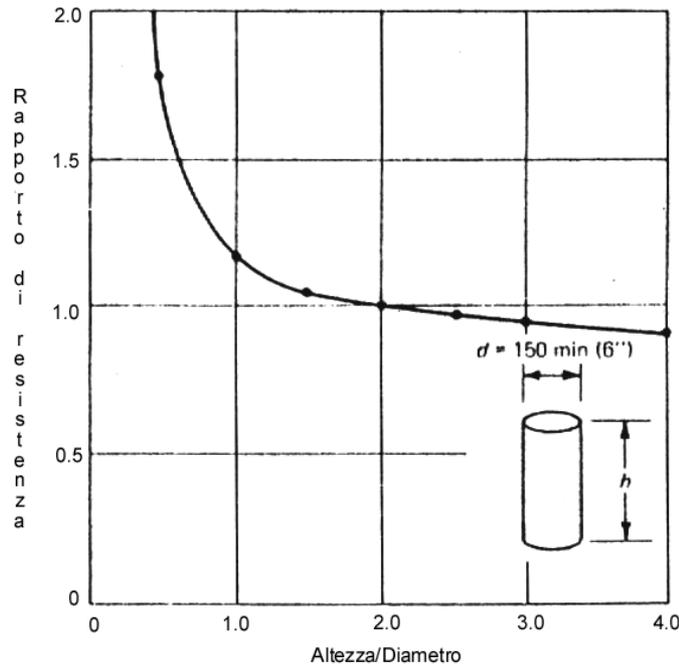
- 1) diverse modalità di preparazione e stagionatura
- 2) differente età di stagionatura tra carota e provino standard
- 3) posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale (ad es. al piede o alla testa di un pilastro, parallelamente o ortogonalmente alla direzione di getto)
- 4) il disturbo che consegue alle operazioni di prelievo
- 5) dimensioni delle carote (ad es. H/D diverso da 2)
- 6) presenza di armature incluse

I MATERIALI

PROVINI (estratti mediante carotaggio - UNI EN 12504-1 e UNI EN 12390/3)



PROVINI (estratti mediante carotaggio - UNI EN 12504-1 e UNI EN 12390/3)



I valori di resistenza sono rapportati a quella ottenuta per il provino con $h/d=2$

La resistenza a compressione dei materiali fragili è molto influenzata dalle dimensioni del provino per valori di $h/d < 2$. Tale variazione è molto minore, invece, per valori di $h/d > 2$

Coefficienti correttivi per la resistenza cilindrica di provini con dimensioni non standard

H/D	2.00	1.75	1.50	1.25	1.10	1.00	0.75	0.50
Fattore moltiplicativo	1.00	0.99	0.96	0.94	0.90	0.85	0.73	0.60

PROVA CON SCLEROMETRO

Il principio di funzionamento di uno sclerometro per rilevazione indiretta della resistenza di un calcestruzzo è il seguente:

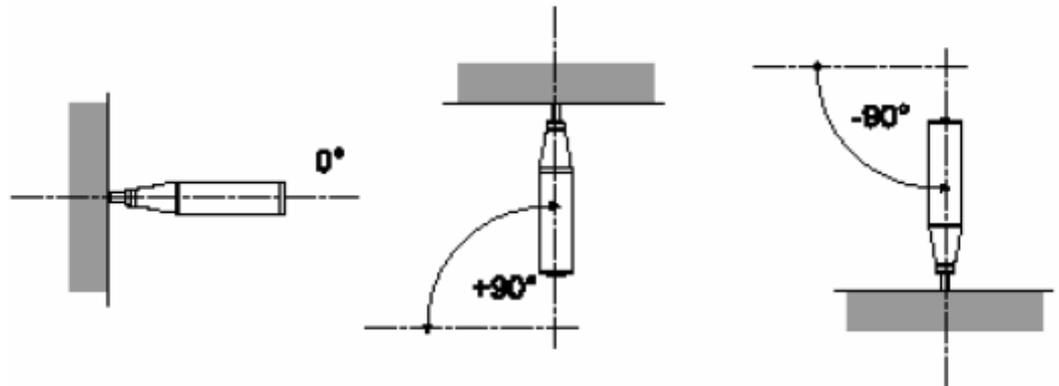
Una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie e il risultato della prova viene espresso in termini di distanza di rimbalzo della massa.

Ciascun martello sclerometrico dovrebbe comunque essere utilizzato SOLTANTO per le classi di resistenza ed il tipo di calcestruzzo per i quali è stato progettato.

La taratura dello strumento avviene mediante una incudine in acciaio che dovrà essere collocata su un piano rigido. La UNI-EN 12504:2 del 2001 fornisce le prescrizioni per la taratura dello strumento.

I MATERIALI

PROVA CON SCLEROMETRO



LE PROVE NON DISTRUTTIVE SUI CALCESTRUZZI

Prima di effettuare in-situ le battute sclerometriche è sempre necessario:

Identificare le aree interessate dalla presenza delle armature metalliche

Valutare il grado di umidità della superficie

Valutare la presenza di eventuale carbonatazione del ricoprimento

Valutazione del livello di danneggiamento della superficie

Direzione della prova

Conoscere la classe dichiarata del CLS

LE PROVE CON ULTRASUONI SUI CALCESTRUZZI

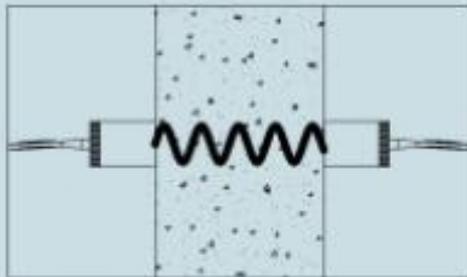
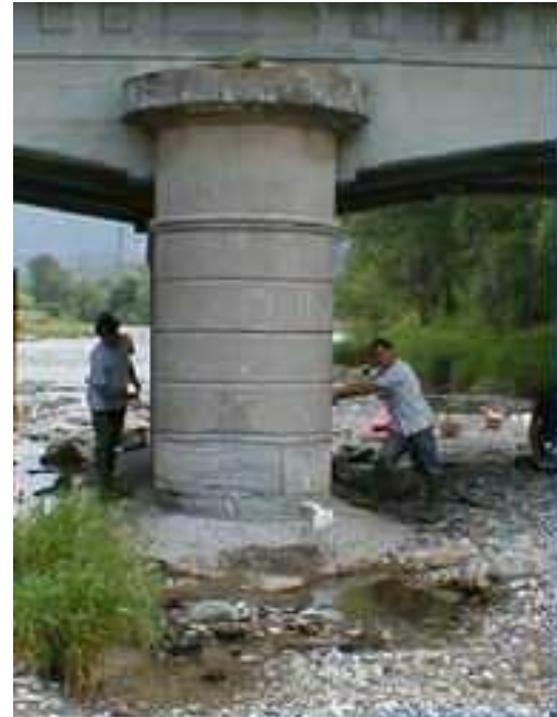
Il metodo di prova mediante ultrasuoni prevede una **misura del tempo di propagazione dell'impulso ultrasonoro all'interno del calcestruzzo**. Il rapporto tra la distanza tra i due punti di emissione/ricezione ed il tempo impiegato fornisce la velocità.

La presenza di difetti o discontinuità (bolle, vuoti ecc.) all'interno del materiale si riflette sul tempo di propagazione e dunque sulla misura della velocità.

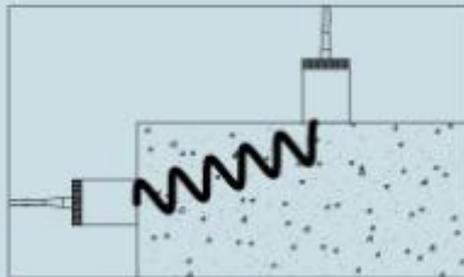
Questa tecnica è molto efficace nella individuazione di difetti nella massa del calcestruzzo quali lesioni, riprese di getto, difetti di costipamento ecc. Si veda a tal proposito la UNI 9524.

In mancanza di tali fenomeni, ovvero in condizioni di sostanziale omogeneità, il metodo si può usare per giungere ad una stima della resistenza a compressione, previo un procedimento di taratura degli strumenti.

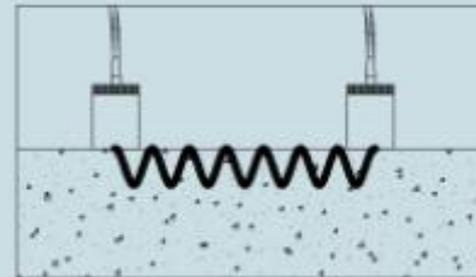
ULTRASUONI



Trasmissione diretta



Trasmissione semidiretta

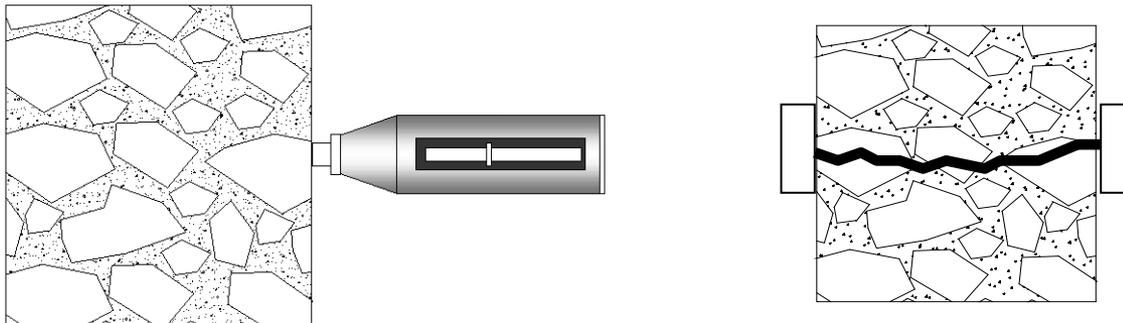


Trasmissione indiretta o di superficie

METODO COMBINATO SONREB

E' una misura che si effettua attraverso la combinazione di battute sclerometriche e misure mediante ultrasuoni.

L'idea di combinare i risultati di queste due prove nasce dal fatto che: se l'indice sclerometrico è fortemente influenzato dallo strato superficiale, la velocità di propagazione dell'ultrasuono è regolata dalla morfologia del materiale al suo interno.



METODO COMBINATO SONREB



METODO COMBINATO SONREB

Il metodo viene applicato determinando per ogni area di saggio due coppie di valori:

- **velocità media di propagazione degli impulsi ultrasonici (mediata su tre misure);**
- **indice di rimbalzo medio (mediato su 10 misure)**

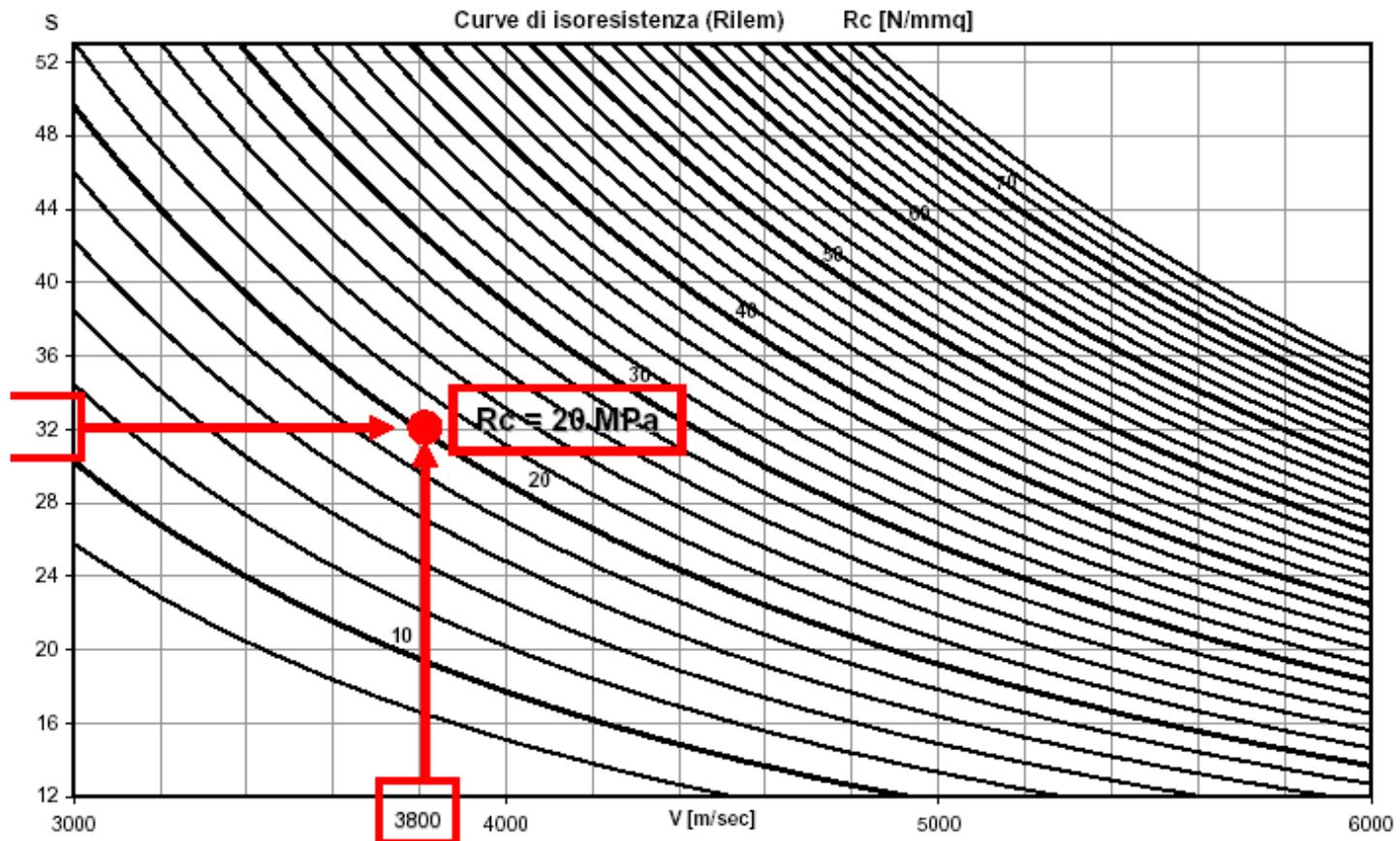
L'indagine Sonreb, eseguita secondo le Raccomandazioni RILEM 43 CND, si avvale quindi della combinazione dei risultati del rilievo ultrasonico (eseguito secondo la Norma UNI 9524/89), basato sulla misura della velocità di propagazione di impulsi ultrasonici, e di quelli del metodo sclerometrico (eseguito secondo la Norma UNI 9189/88), basato sulla misura della durezza superficiale tramite l'indice di rimbalzo dello sclerometro.

I parametri misurati con queste indagini, e cioè velocità di propagazione ed indice di rimbalzo, possono essere messi in correlazione con la resistenza a compressione del calcestruzzo attraverso una legge di variazione ottenuta sperimentalmente.

Per ogni elemento da provare devono essere scelte minimo tre sezioni di prova.

METODO COMBINATO SONREB

La valutazione della resistenza del CLS con il metodo SONREB richiede la conoscenza della velocità ultrasonica V e dell'indice sclerometrico S .



METODO COMBINATO SONREB

In bibliografia vengono fornite numerose espressioni per l'applicazione del metodo SONREB:

$$R_{c,1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^{2.6} \quad (1), \text{ Norme RILEM}$$

$$R_{c,2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot S^{1.246} \cdot V^{1.85} \quad (2), \text{ Gasparik}$$

$$R_{c,3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.446} \quad (3), \text{ Di Leo - Pascale}$$

Nessuna di queste espressioni ha validità generale, ed in particolare non sono valide per calcestruzzi di scarsa qualità.

I MATERIALI

ACCIAI AD ADERENZA MIGLIORATA

B 450 C – laminato a caldo

B 450 A – trafilato a freddo



ACCIAIO LAMINATO A CALDO (B-450 C)

L'acciaio per cemento armato laminato a caldo, denominato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$f_{y \text{ nom}}$	450 N/mm ²
$f_{t \text{ nom}}$	540 N/mm ²

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tabella 11.2.Ia:

Tabella 11.2.Ia

		CARATTERISTICHE
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	$\geq f_{y \text{ nom}}$ (N/mm ²)
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	$\geq f_{t \text{ nom}}$ (N/mm ²)
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,13$
	$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k$	$\leq 1,35$
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 7 \%$
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
	$\phi < 12 \text{ mm}$	4 ϕ
	$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 ϕ
per	$16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 ϕ
per	$25 < \phi \leq 50 \text{ mm}$	10 ϕ

ACCIAIO TRAFILATO A FREDDO

(B-450 A)

Tabella 11.3.Ic

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 2,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche: per $\phi \leq 10 \text{ mm}$		
	4ϕ	

CONTROLLI SU ACCIAIO

Tutti gli acciai devono possedere un **ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE** secondo il Cap. 11 delle NTC 2008

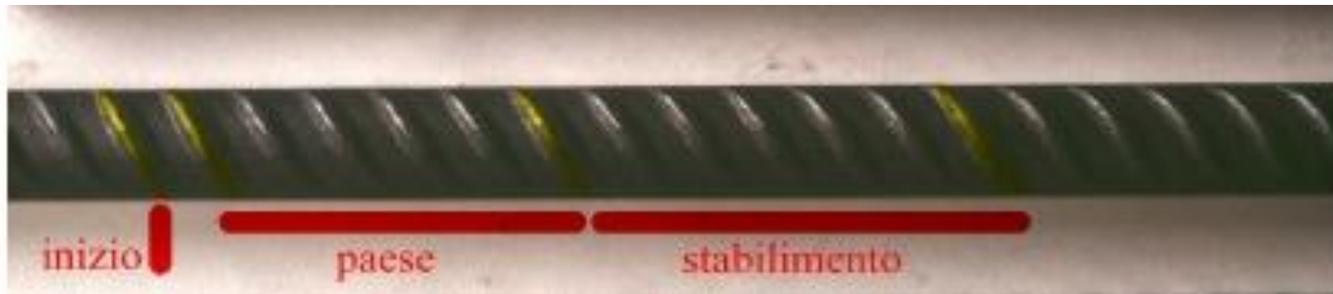
Il DL in cantiere deve ricevere e verificare l'attestato di qualificazione in cui vengono dichiarati i valori caratteristici dei requisiti prestazionali dell'acciaio da C.A. o da C.A.P.

RESPONSABILITÀ DEL D.LL. – prove di accettazione

Min. 3 barre per ogni diametro utilizzato se della stessa ferriera altrimenti 3 barre per ogni ferriera anche se il diametro è ripetuto

Lunghezza delle barre ca. 100 cm al fine di permettere l'identificazione da parte del laboratorio attraverso i risalti sulla barra

ACCIAIO da C.A. – Controlli di accettazione



ACCIAIO da C.A. – Controlli di accettazione

La prova di trazione in laboratorio

Scopo della prova è la determinazione dei valori di snervamento e di rottura, nonché dell'allungamento % a rottura su barre di acciaio per conglomerati cementizi armati.

Norma di riferimento

La norma di riferimento seguita è la UNI EN 10002/1



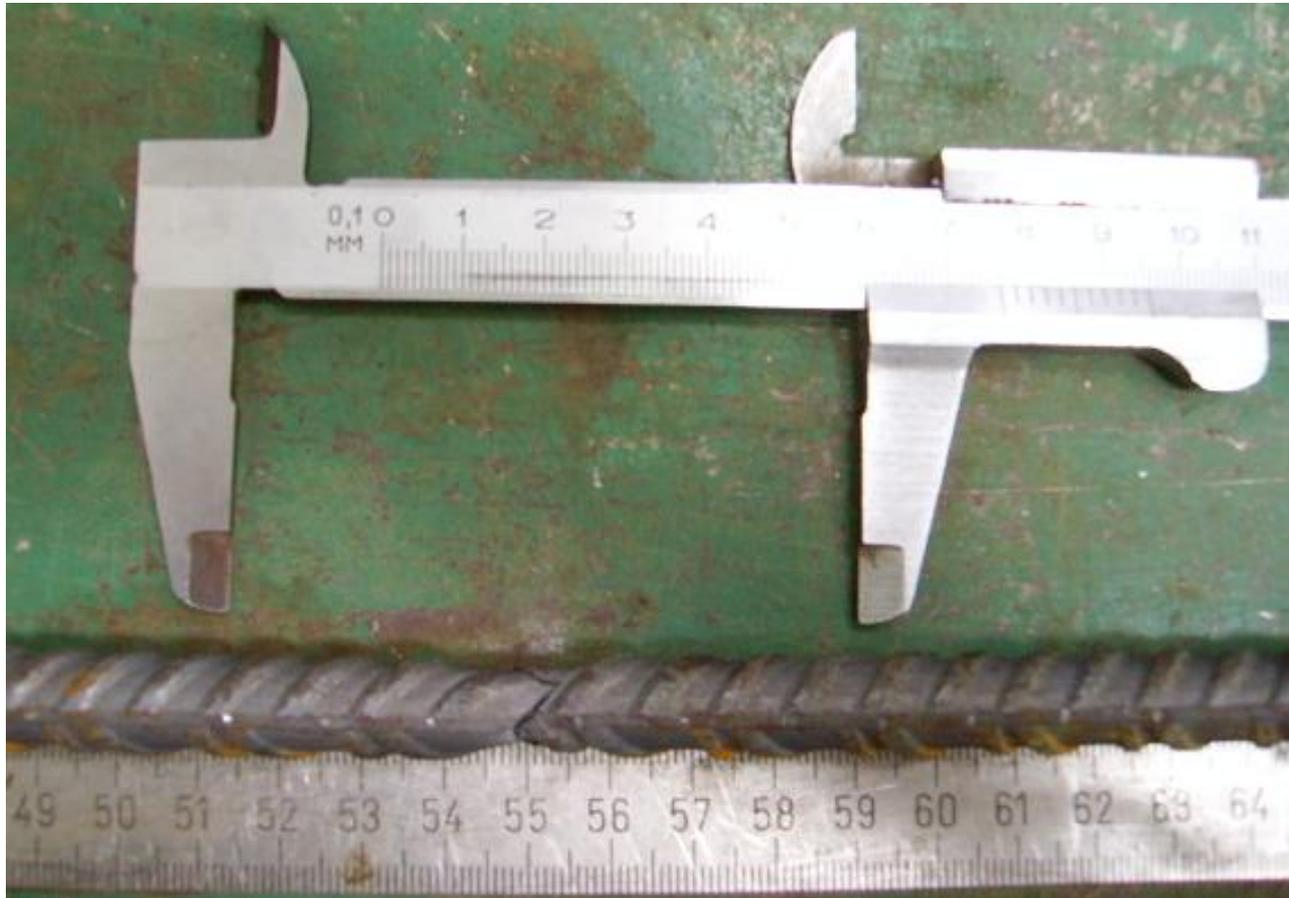
ACCIAIO da C.A.– Controlli di accettazione

La prova di trazione in laboratorio



ACCIAIO da C.A.– Controlli di accettazione

La prova di trazione in laboratorio



ACCIAIO da C.A.– Controlli di accettazione

La prova di piegamento

Scopo

Scopo della prova è la determinazione del comportamento dei materiali metallici, attraverso la piega di una provetta rettilinea a sezione piena, circolare o poligonale, ad una deformazione plastica.

Nel caso di barre in acciaio per C.A. di diametro non superiore a 12 mm si effettua la prova di piegamento fino a raggiungere una forma ad U.

Nel caso di barre in acciaio per C.A. di diametro non inferiore a 14 mm si effettua prima la prova di piega fino 90° e poi il raddrizzamento fino a 20°.

Norma di riferimento

La norma di riferimento seguita è la UNI ISO 10065, UNI EN ISO 7438

ACCIAIO da C.A.– Controlli di accettazione

La prova di piegamento



ACCIAIO da C.A.– Controlli di accettazione

La prova di piegamento

