

3

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

A. A. 2025-2026
Corso di **Tecnica delle costruzioni**

Caratteristiche dei materiali

IL CALCESTRUZZO ARMATO



Il **calcestruzzo armato** è un materiale da costruzione composito ottenuto dalla combinazione di:

- **calcestruzzo** (la matrice), che ha buona resistenza a compressione ma scarsa resistenza a trazione ($\sim 1/10$ della comp.);
 - ↳ Il calcestruzzo è un materiale “composito” formato da aggregati (sabbia e ghiaia) chimicamente legati fra loro da cemento e idratato con acqua. Il diametro massimo degli aggregati dipende dallo spessore dell'elemento da realizzare (nelle costruzioni civili raramente supera i 20 mm).
- **acciaio** (barre o reti d'armatura), che è utilizzato principalmente per resistere agli sforzi di trazione.
 - ↳ L'acciaio (lega metallica di ferro e carbonio) è utilizzato in barre ad aderenza migliorata, per garantire una buona aderenza con il calcestruzzo.

IL CALCESTRUZZO ARMATO



L'ampia diffusione di strutture in **calcestruzzo armato** è dovuta principalmente a:

- Disponibilità di acciaio in barre e componenti del calcestruzzo;
- Facilità di esecuzione / realizzazione in-situ;
- Economicità;
- Versatilità di forme/scopi;
- Resistenza al fuoco
- Relativa bassa manutenzione

PROPRIETA' DEL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo (o conglomerato lapideo artificiale) è un materiale composito, formato da aggregati di **inerti** (sabbia, ghiaia o pietrisco di varie dimensioni) chimicamente legati fra loro da **cemento idratato con acqua** (pasta di cemento) e additivi.

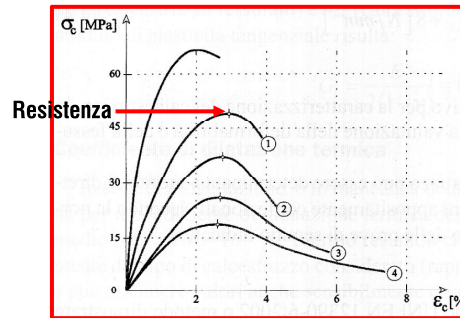
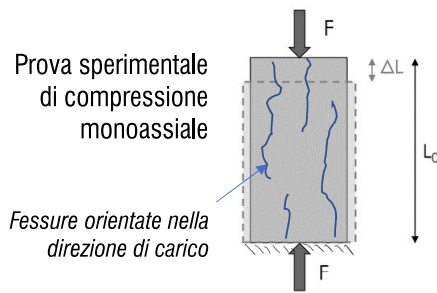
A livello **macroscopico**, il calcestruzzo può essere assimilato ad un materiale omogeneo e isotropo. Tuttavia, a livello **microscopico**, il calcestruzzo, per la sua natura «composita», è interessato da una microfessurazione diffusa già per livelli tensionali modesti, a causa della scarsa resistenza agli sforzi di trazione della matrice, degli inerti e dell'interfaccia matrice-inerte.

Le principali proprietà del **calcestruzzo** (in riferimento al comportamento meccanico) riguardano:

- Resistenza a compressione
- Modulo elastico
- Resistenza a trazione
- Aderenza acciaio-calcestruzzo
- Ritiro
- Viscosità
- Dilatazione termica
- Durabilità



• Resistenza a compressione e modulo elastico



Tensione di compressione (compressive stress)

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Deformazione di compressione (comp. strain)

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta L}{L_0}$$

[Forza]/[Area]

[Lungh]/[Lungh]
(adimensionale)

Il diagramma σ_c - ε_c definisce il
LEGAME COSTITUTIVO a compressione
del calcestruzzo

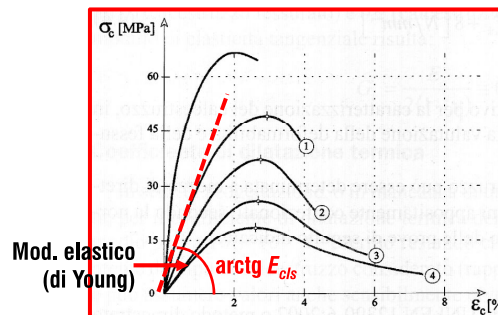
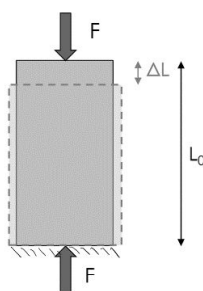


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



5

• Resistenza a compressione e modulo elastico



Il legame costitutivo a compressione del calcestruzzo assume, nel tratto iniziale del diagramma, un **andamento lineare**

Modulo elastico (Elastic modulus) [Forza]/[Area]

$$E_{cls} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c}$$

La microfessurazione diffusa, che si attiva già per livelli tensionali modesti, determina un legame σ_c - ε_c **non lineare** per valori di carico anche molto più bassi di quello di rottura (nei calcestruzzi «ordinari» con resistenza fino a ~50 MPa, a partire da valori di tensione pari a circa il 30 ÷ 40% della resistenza massima).

Dopo valori tensionali pari a ~75% del massimo, le fessure sono tante e il campione diventa instabile.

All'aumentare della resistenza l'andamento iniziale si presenta lineare fino a una percentuale della resistenza sempre più elevata. Il ramo discendente diventa sempre più ripido (meccanismo di rottura sempre più fragile)

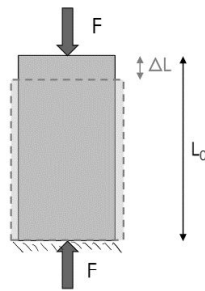


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



6

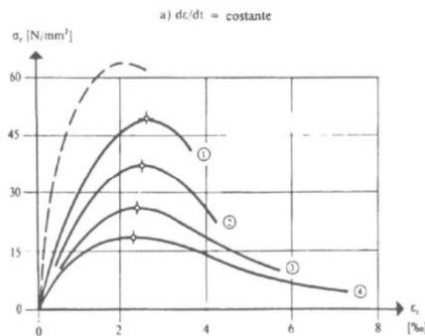
• Resistenza a compressione e modulo elastico



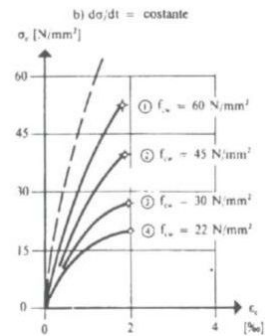
ASPETTI CHE INFLUENZANO L'ESITO DELLA PROVA

Tipologia di «controllo» della prova

Prove sperimentali
a incremento di deformazione

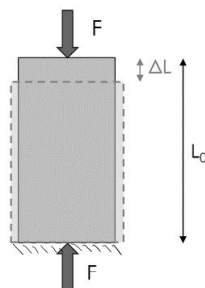


Prove sperimentali
a incremento di forza

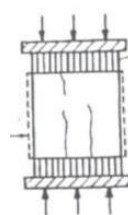


• Resistenza a compressione e modulo elastico

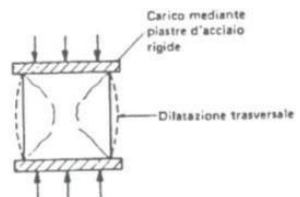
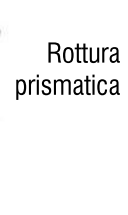
Tipologia dell'apparecchio di prova («effetti di bordo»)



Rottura
parallela



Rottura
prismatica



Tipologia del campione di prova

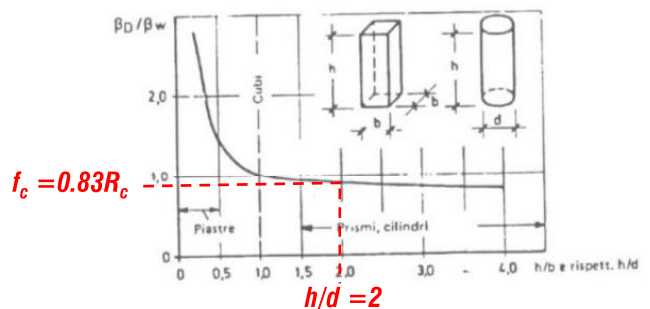
Prove sperimentali
su provini cilindrici



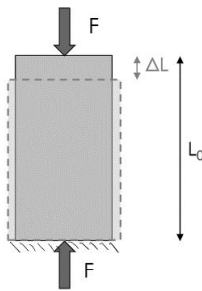
Prove sperimentali
su provini prismatici («cubetti»)



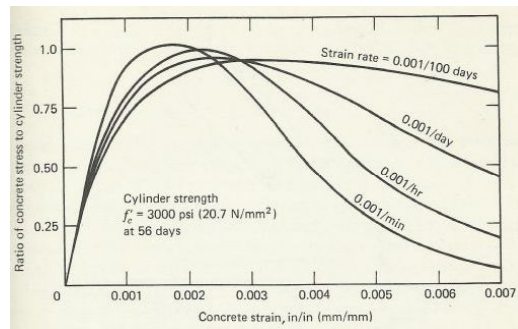
Correlazione tra resistenza cilindrica e cubica



• Resistenza a compressione e modulo elastico

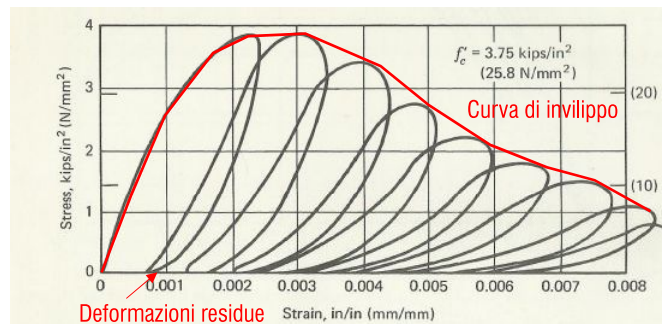


Velocità di carico della prova (Rusch)



Più la prova è lenta più il calo di tensione è graduale.
La resistenza massima cala leggermente

Andamento del carico della prova (monotono, ciclico)



La prova ciclica evidenzia le deformazioni residue (irreversibili)

L'involuppo della curva ciclica è molto simile alla curva monotona

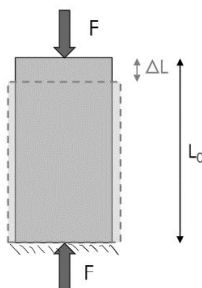


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

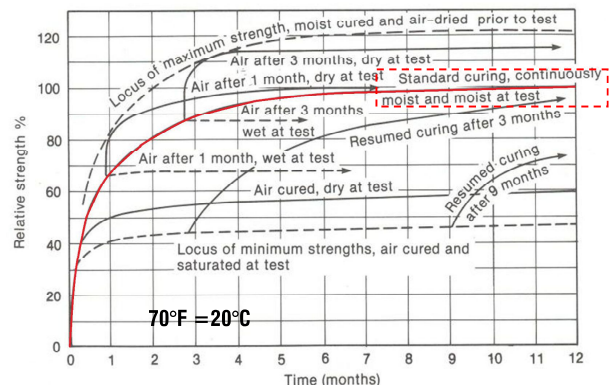


9

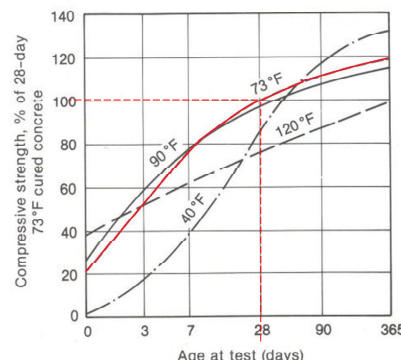
• Resistenza a compressione e modulo elastico



Influenza della stagionatura e dell'umidità alla prova



Influenza della temperatura durante i primi 28 gg. di maturazione



40°F = 4.4°C
73°F = 24°C
90°F = 32°C
120°F = 49°C

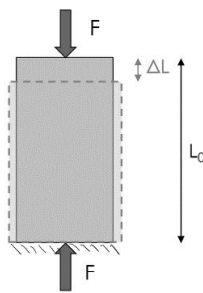


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

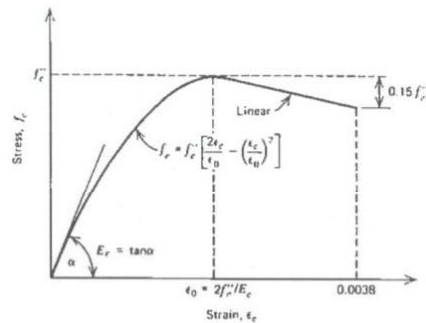


10

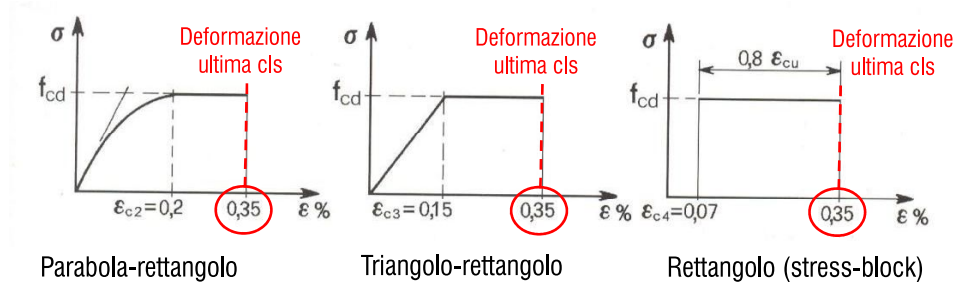
• Resistenza a compressione e modulo elastico



SCHEMATIZZAZIONE DEL LEGAME COSTITUTIVO



MODELLI COSTITUTIVI SEMPLIFICATI (relazioni analitiche «semplici»)

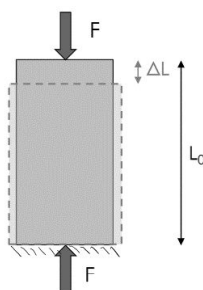


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



11

• Resistenza a compressione e modulo elastico



CLASSI DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO

Il primo numero rappresenta la resistenza caratteristica a compressione cilindrica, f_{ck} , il secondo la resistenza caratteristica a compressione cubica, R_{ck} .

CLASSE DI RESISTENZA	
C8/10	Molto bassa
C12/15	
C16/20	
C20/25	Bassa
C25/30	
C28/35	Media
C32/40	
C35/45	
C40/50	
C45/55	Alta
C50/60	
C55/67	
C60/75	Molto alta
C70/85	
C80/95	
C90/105	

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

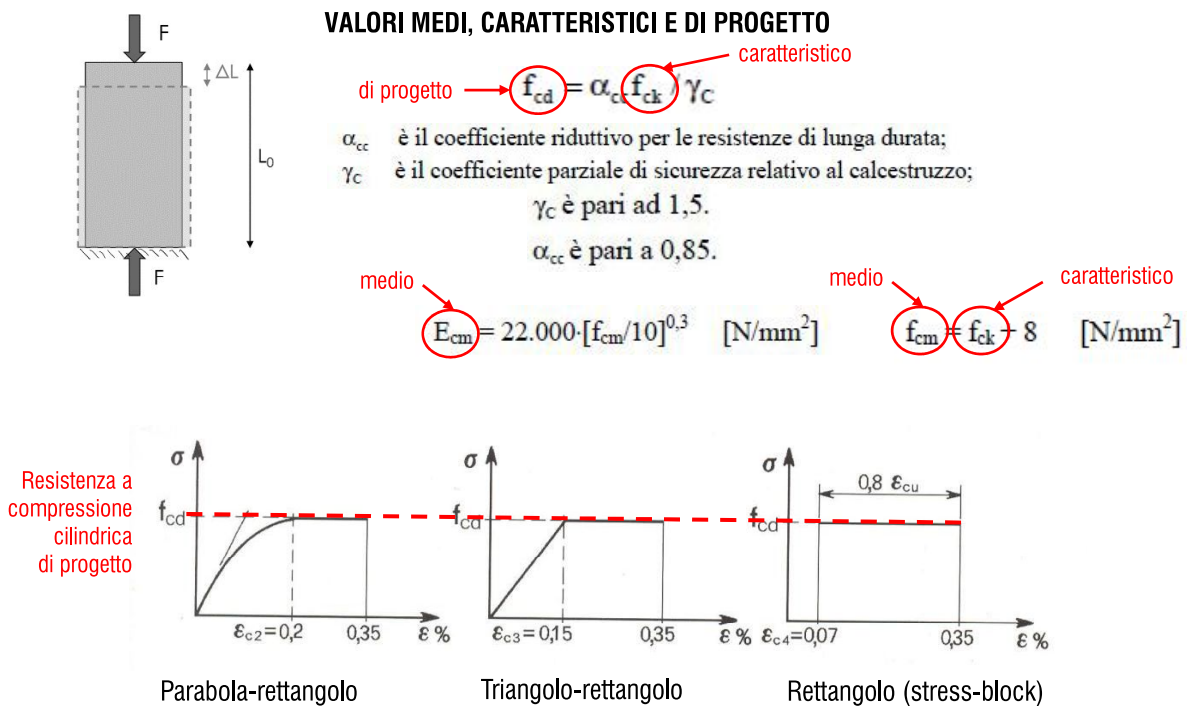


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

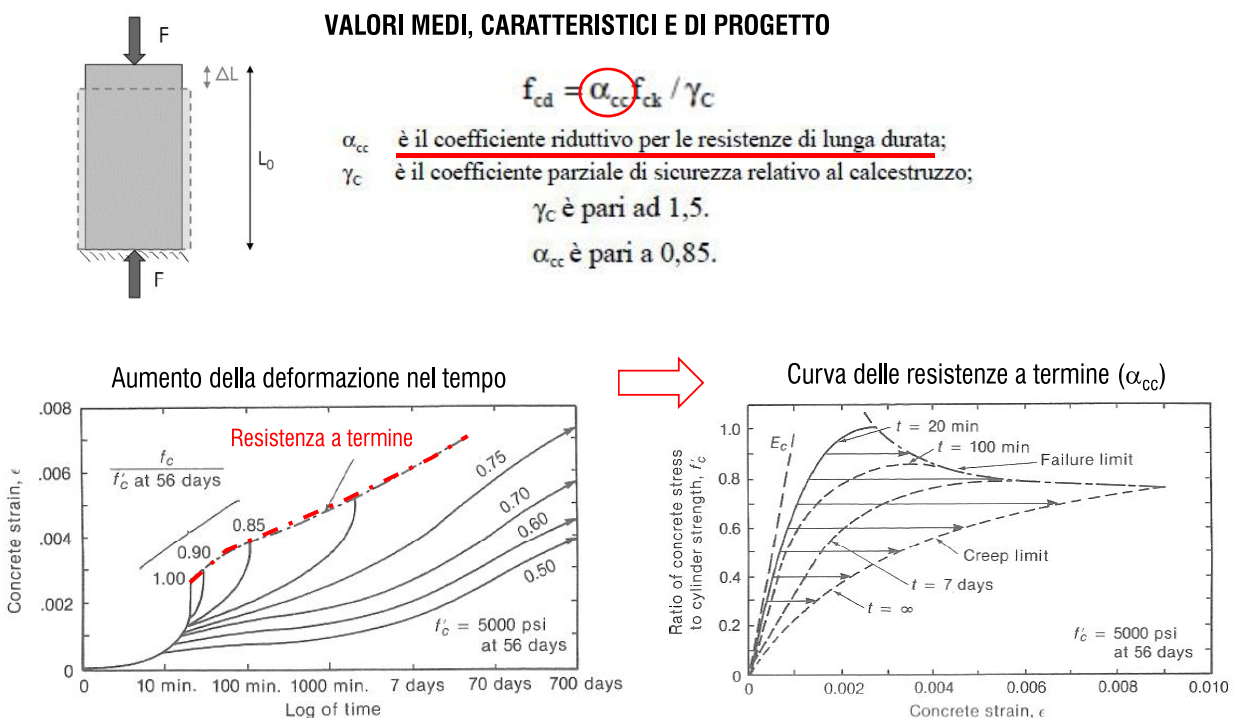


12

• Resistenza a compressione e modulo elastico

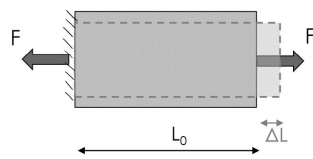


• Resistenza a compressione e modulo elastico

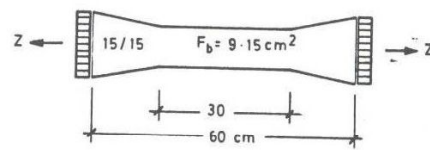


• Resistenza a trazione

Prova sperimentale di trazione monoassiale



Provino a «osso di cane» (dog bone)



Tensione di trazione (tensile stress)

[Forza]/[Area]

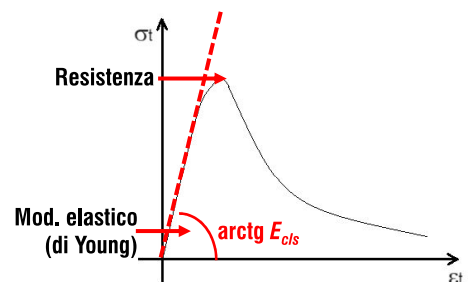
$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Deformazione di trazione (tensile strain)

[Lungh]/[Lungh]
(adimensionale)

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Il diagramma σ_t - ε_t definisce il LEGAME COSTITUTIVO a trazione del calcestruzzo



Il legame costitutivo a trazione del calcestruzzo σ_t - ε_t ha un comportamento assimilabile a lineare fino a circa il 90% della resistenza a trazione massima.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



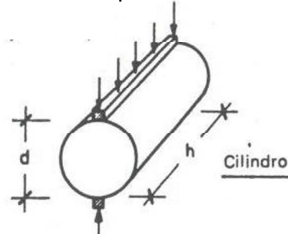
15

• Resistenza a trazione

Per le difficoltà di valutare sperimentalmente la resistenza a trazione con una prova diretta, sono state messe a punto prove indirette (prova «brasiliana» o *splitting test*)

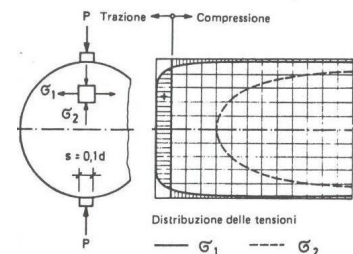


Prove sperimentali di trazione indiretta su provini cilindrici

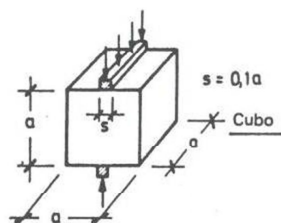


$$f_{t,sp} = \frac{2P}{\pi dh}$$

La compressione concentrata sulla generatrice induce delle tensioni di trazione trasversali con andamento ~costante sul tratto intermedio



Prove sperimentali di trazione indiretta su provini prismatici («cubetti»)



$$f_{t,sp} = \frac{2P}{\pi a^2}$$

Il valore di resistenza a trazione ottenuto dalla una prova brasiliana è quasi uguale a quello che si ottiene da una prova di trazione diretta



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



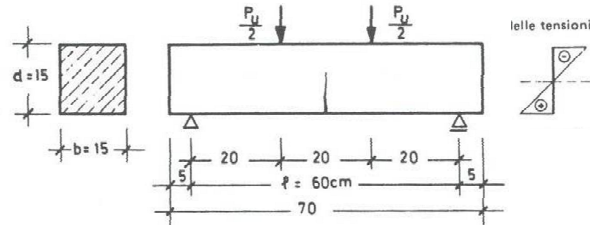
16

• Resistenza a trazione

Per le difficoltà di valutare sperimentalmente la resistenza a trazione con una prova diretta, sono state messe a punto prove indirette (prova di flessione o bending test)



Prove sperimentali di flessione su 4 punti



$$f_{t,fl} = \frac{Pl}{bd^2}$$

Il valore di resistenza a trazione ottenuto dalla una prova a flessione è maggiore di quello che si ottiene da una prova di trazione (≥ 1.2 volte)

Sono state messe a punto (e adottate dai codici normativi) delle formulazioni per correlare la resistenza a trazione con quella a compressione, più semplice da misurare sperimentalmente

Resistenza a trazione media $\rightarrow f_{ctm} = \begin{cases} 0.30 f_{ck}^{2/3} & \text{per classi } \leq C50/60 \\ 2.12 \ln[1 + f_{cm}/10] & \text{per classi } > C50/60 \end{cases}$

$$f_{ctk,5\%} = 0.7 f_{ctm} \quad f_{ctk,95\%} = 1.3 f_{ctm}$$



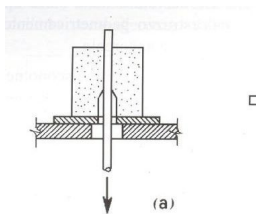
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



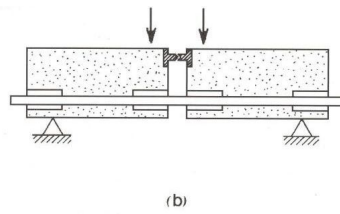
17

• Aderenza calcestruzzo-acciaio

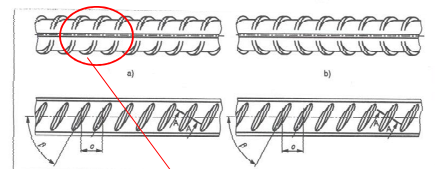
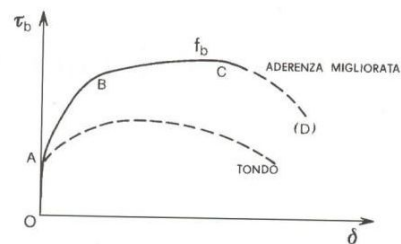
Direttamente correlata alla resistenza a trazione del calcestruzzo è l'aderenza calcestruzzo-acciaio, che deve garantire il trasferimento degli sforzi tra la barra di armatura e il calcestruzzo



Prove sperimentali
di «pull-out»



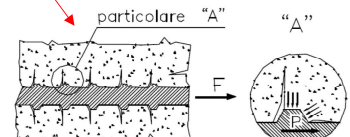
Prove sperimentali
«beam test»
(più rappresentative)



Correlazione per barre ad aderenza migliorata

Resistenza di aderenza caratteristica $\rightarrow f_{bk} = 2.25 f_{ctk}$ $\leftarrow$ Resistenza a trazione del cls caratteristica

Cedono i denti di cls tra le nervature



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



18

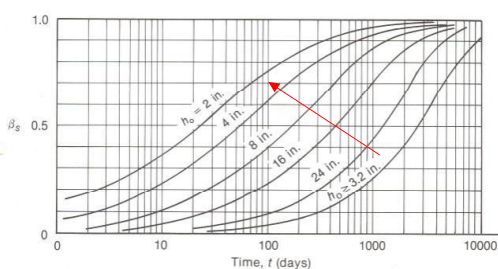
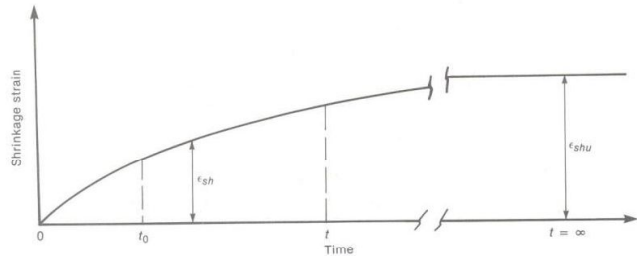
• Ritiro

Il ritiro (*shrinkage*) è un fenomeno che, **indipendentemente dai carichi agenti**, determina una riduzione del volume del calcestruzzo durante la fase di presa e indurimento, determinato dalla progressiva eliminazione (evaporazione, migrazione) dell'acqua superficiale in eccesso contenuta nella pasta cementizia.

Il ritiro può essere dannoso perché **determina uno stato tensionale** di trazione e il conseguente insorgere di lesioni, anche di ampiezza rilevante, che possono indurre un degrado prematuro delle strutture.

L'entità del ritiro dipende quindi da:

- quantità d'acqua presente nell'impasto;
- umidità dell'ambiente durante la stagionatura;
- estensione della superficie del getto esposta all'aria.



$$h_0 = \frac{2 \cdot A}{p}$$

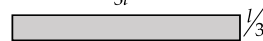
A = area sez. trasv.
p = perimetro sez.

Al diminuire di h_0 , il ritiro si esplica prima e più rapidamente

Esempio, con A cost.



$$h_{01} = \frac{2 \cdot l^2}{4l} = 0.5l$$



$$h_{02} = \frac{2 \cdot 3l \cdot l/3}{2(3l + l/3)} = 0.3l$$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

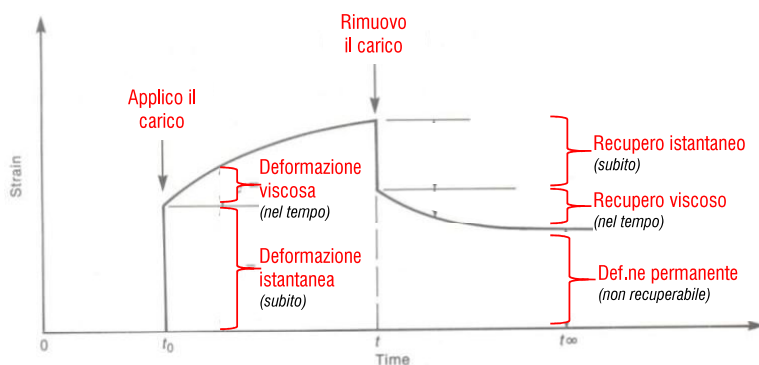


19

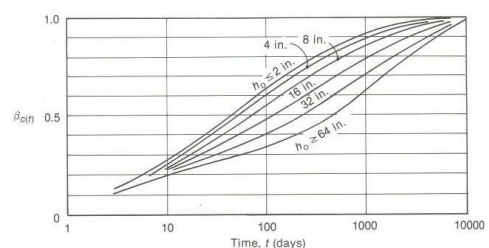
• Viscosità

La viscosità (*creep*) è un fenomeno che determina un **incremento delle deformazioni** nel calcestruzzo rispetto al valore istantaneo (iniziale), per effetto **dei carichi agenti per una lunga durata**.

Quando il carico viene rimosso, c'è il **recupero istantaneo** di una parte delle deformazioni, e un **recupero viscoso**, che si esplica nel tempo. Una parte delle deformazione è invece **permanente** (non viene più recuperata, è irreversibile, a causa della modifica che ha subito la microstruttura della matrice cementizia)



L'entità del fenomeno viscoso dipende anche dalle dimensioni dell'elemento



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



20

• Dilatazione termica

Il calcestruzzo subisce un aumento (riduzione) di volume per effetto di un aumento (diminuzione) della temperatura.

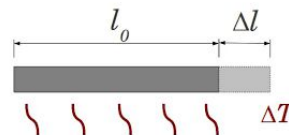
L'entità di queste variazioni è correlata al **coefficiente di dilatazione termica**

$$\alpha_T = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \cong \text{ come quello dell'acciaio}$$

questo consente di non avere stati di coazione tra acciaio e calcestruzzo negli elementi in c.a. per effetto delle variazioni termiche

Variazione di lunghezza dell'elemento di lunghezza l_0 per effetto di una variazione di temperatura ΔT

$$\Delta l = l_0 * \alpha_T * \Delta T$$



• Durabilità

La durabilità del calcestruzzo è strettamente legata alla sua capacità di resistere agli **agenti aggressivi ambientali e chimici nel tempo**, senza subire un degrado tale da comprometterne le prestazioni meccaniche e funzionali.

Principali agenti aggressivi di tipo chimico-fisico, **fattori di degrado** sono:

- cicli di **gelo-disgelo**: l'acqua penetra nei pori della matrice cementizia o nei macro-vuoti presenti all'interfaccia tra matrice e aggregati. Se l'acqua ghiaccia, aumenta di volume, generando pressioni interne che inducono stati tensionali e microfessurazioni progressive.
- azione dei **solfati**: presenti nei terreni o nelle acque di falda e reflue, reagiscono con i composti idrati del cemento (principalmente con gli alluminati idrati), formando prodotti espansivi (come ettringite secondaria, gesso) responsabili di rigonfiamenti e fessurazioni.
- reazioni **alcali-aggregati**: alcuni aggregati contenenti silice reattiva possono reagire con gli alcali (sodio e potassio) del cemento, producendo un gel silico-alcalino, igroscopico e altamente espansivo che quindi, in presenza di umidità, genera tensioni interne e quadro fessurativo diffuso.
- attacchi **acidi**: il calcestruzzo è intrinsecamente vulnerabile agli acidi, perché la pasta cementizia è alcalina. La presenza di acidi determina la dissoluzione della pasta cementizia, in particolare dell'idrossido di calcio, con progressiva perdita di coesione e resistenza.
- **agenti biologici**: batteri e microrganismi, presenti in particolare in ambienti fognari o marini, possono innescare processi di bio-deterioramento attraverso la produzione di sostanze aggressive (ad esempio acido solforico), contribuendo al degrado superficiale e strutturale del materiale.



Ad essi si aggiungono poi dei fattori che incidono sulla durabilità delle **armature metalliche**:

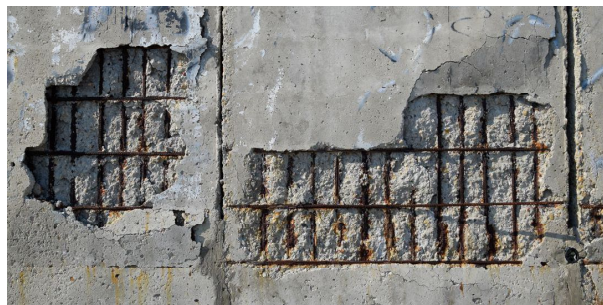
- **Carbonatazione del calcestruzzo:** l'anidride carbonica (CO_2) presente nell'aria penetra nei pori del calcestruzzo e reagisce principalmente con l'idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (*portlandite*), formando carbonato di calcio (CaCO_3) e acqua. La conseguenza fondamentale non è tanto un degrado del calcestruzzo, quanto la **riduzione del pH**:

Il calcestruzzo non carbonatato ha pH elevato $\approx 12.5-13.5$ (fortemente alcalino): sull'acciaio si forma spontaneamente un film di ossido stabile e compatto (strato passivante).

Finché il pH resta $> 11-11.5$ circa, lo strato rimane stabile.

Dopo la carbonatazione, il pH può scendere sotto 9. Quando il fronte di carbonatazione raggiunge le armature, viene meno la passivazione naturale dell'acciaio (film passivante di ossido non è più stabile e si rompe), che diventa **vulnerabile alla corrosione** in presenza di **ossigeno** e **umidità** (acqua).

Se ne deduce che la carbonatazione è più rapida in calcestruzzi porosi e con copriferro ridotto.

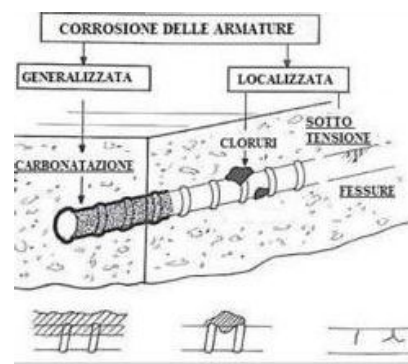


- **Penetrazione dei cloruri:** gli ioni cloruro, Cl^- , (presenti, ad esempio, nell'acqua di mare, nei sali disgelanti, nelle piscine, negli ambienti industriali) penetrano nel calcestruzzo e, raggiunta una concentrazione critica in prossimità delle armature, rompono localmente il film passivante dell'acciaio, anche se il pH è ancora elevato (quindi anche senza carbonatazione).

La corrosione da cloruri è di tipo **localizzato** (è detta anche pitting o vaiolatura) e produce cavità profonde sulla superficie delle barre d'armatura, riducendone rapidamente la sezione resistente.

La corrosione è un processo elettrochimico che richiede ossigeno, quindi è un fenomeno meno grave in ambienti completamente saturi e privi di ossigeno (es. strutture immerse). Nelle zone soggette a cicli bagnato–asciutto, invece (es. zona di marea o spruzzi marini) è un fenomeno molto aggressivo.

È particolarmente pericoloso, perché poco visibile inizialmente, difficile da rilevare: la superficie del calcestruzzo può sembrare integra, mentre all'interno la barra d'acciaio è già seriamente danneggiata.



PROPRIETA' DELL'ACCIAIO D'ARMATURA

L'acciaio è una lega metallica composta principalmente da ferro e carbonio. I tipi più comuni di armatura per elementi in c.a. non precompressi sono le barre ad aderenza migliorata e le reti elettrosaldate.

Le barre nervate (**aderenza migliorata**) che forniscono una migliore aderenza al calcestruzzo rispetto a quelle lisce.

Le barre nervate sono identificate dal diametro della barra equipesante (liscia).



La barra presenta un legame costitutivo uguale in trazione e in compressione (prima che subentri instabilità in compressione).

Tensione di trazione (tensile stress)

[Forza]/[Area]

$$\sigma_{s,t} = \frac{F}{A}$$

Deformazione di trazione (tensile strain)

[Lungh]/[Lungh]
(adimensionale)

$$\varepsilon_{s,t} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Il diagramma $\sigma_{s,t}-\varepsilon_{s,t}$ definisce il
LEGAME COSTITUTIVO a trazione
dell'acciaio



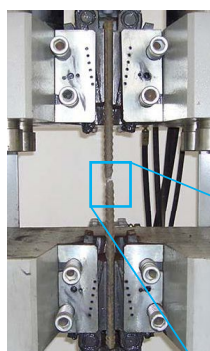
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



25

PROPRIETA' DELL'ACCIAIO D'ARMATURA

Le prove sperimentali di trazione sulle barre d'acciaio evidenziano in generale in trazione un comportamento **elastico** lineare fino allo **snervamento**, seguito da un **tratto plastico** e un successivo **incrudimento** (incremento di tensione) fino alla rottura, preceduta dalla strizione della barra.

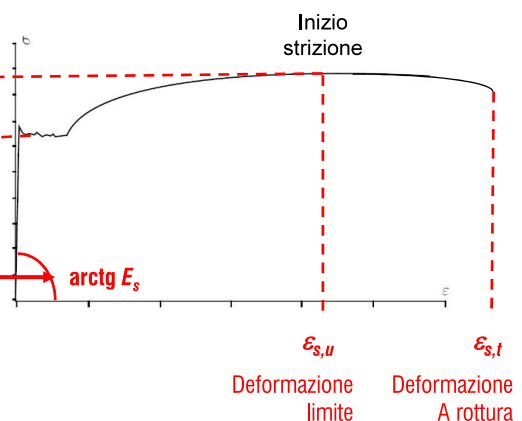


Strizione

Rapporto di
incrudimento
 $\frac{f_{s,t}}{f_{s,y}}$

Resistenza a
trazione
 $f_{s,t}$
Tensione di
snervamento
 $f_{s,y}$

Mod. elastico
(di Young)



Modulo elastico (Elastic modulus)

[Forza]/[Area]

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\varepsilon_s}$$

$E_s = 205000 \text{ MPa}$

L'acciaio è un **materiale DUTTILE** poiché è in grado di sopportare grandi deformazioni prima di subire una significativa perdita di resistenza.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



26

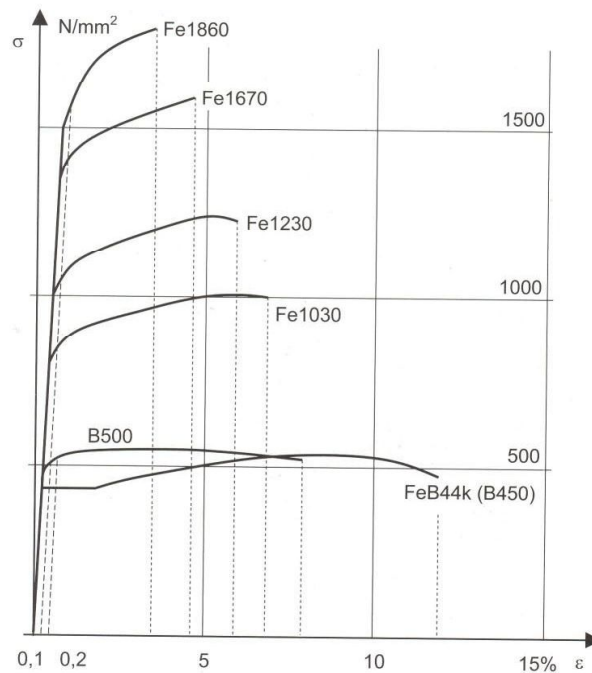
PROPRIETA' DELL'ACCIAIO D'ARMATURA

In genere, all'aumentare della resistenza, la duttilità tende a decrescere.

Acciaio ad alta resistenza in filo da c.a.p. per trecce e trefoli

Acciaio ad alta resistenza in barre da c.a.p.

Acciaio in barre ad aderenza migliorata da c.a. ordinario



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



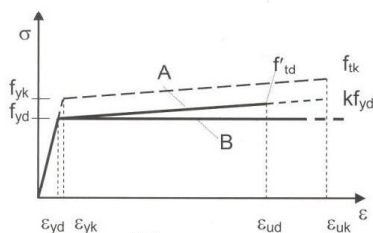
27

PROPRIETA' DELL'ACCIAIO D'ARMATURA

MODELLI COSTITUTIVI SEMPLIFICATI (relazioni analitiche «semplici»)

$$E_0 = \frac{f_y}{\varepsilon_y}$$

$$E_1 = \frac{f_t - f_y}{\varepsilon_u - \varepsilon_y}$$



A – Modello bilineare con incrudimento

B – Modello elastico-perfettamente plastico indefinito

VALORI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

$$f_y = f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} \quad \text{con } \gamma_S = 1,15$$

$$f'_{td} = f_y + E_1 (\varepsilon_{ud} - \varepsilon_y)$$

$$f_t = f_{td} = k f_{yd} \quad \text{con } k = 1,2$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_u = \varepsilon_{uk} \quad \varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk}$$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



28

ESEMPIO DI CALCOLO PROPRIETA' MECCANICHE C.A.

Esempio: CALCESTRUZZO C25/30

$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Resistenza a compressione cubica caratteristica

$$f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 0.83 * 30 \text{ MPa} = 25 \text{ MPa}$$

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 25 \text{ MPa} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$$

Resistenza a compressione cilindrica media

$$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 22000 (33/10)^{0.3} = 31476 \text{ MPa} \quad \text{Modulo elastico (Young)}$$

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3} = 0.3 * 25^{2/3} = 2.57 \text{ MPa}$$

Resistenza a trazione media

$$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm} = 1.80 \text{ MPa}$$

Resistenza a trazione caratteristica

$$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm} = 1.2 * 2.57 = 3.08 \text{ MPa}$$

Resistenza a trazione per flessione media

$$f_{bk} = 2.25 f_{ctk} = 2.25 * 1.80 \text{ MPa} = 4.04 \text{ MPa}$$

Tensione tangenziale caratteristica di aderenza

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 25 \text{ MPa} / 1.5 = 14.2 \text{ MPa} \quad \text{Resistenza a compressione di progetto}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.80 \text{ MPa} / 1.5 = 1.2 \text{ MPa}$$

Resistenza a trazione di progetto

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 4.04 / 1.5 = 2.7 \text{ MPa}$$

Tensione di aderenza di progetto

Esempio: ACCIAIO B450C

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

Tensione di snervamento caratteristica

$$f_{tk} = 540 \text{ MPa}$$

Tensione a carico massimo

$$E_s = 205000 \text{ MPa}$$

Modulo elastico (Young)

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 \text{ MPa} / 1.15 = 391 \text{ MPa}$$

Resistenza a trazione di progetto



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



29

Bibliografia

- Toniolo G., Di Prisco M., "Cemento Armato – Calcolo agli stati limite", Vol. 2a, terza edizione, Ed. Zanichelli, 2010.
- Park R., Paulay T., "Reinforced Concrete Structures", John Wiley & Sons, New York, 1975.
- Mac Gregor J., "Reinforced Concrete – Mechanics and Design", Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- Santarella L., "Prontuario del Cemento Armato", XXXVIII edizione, Ed. Hoepli, Milano.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



30