

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Corso Integrato di Scienza e Tecnica delle Costruzioni

Modulo di **Tecnica delle Costruzioni** (8 CFU)

A.A. 2025-2026
2° semestre

Docente: Marco Zucca

**STATI LIMITE ULTIMI
SOLLECITAZIONE NORMALE E/O
FLESSIONALE**



POLITECNICO
MILANO 1863
Scuola Master Fratelli Pesenti



Università degli Studi di Cagliari

DICAAR

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

Azione normale resistente di trazione

Il collasso avviene a causa della rottura, per eccessiva deformazione, delle barre di armatura, il calcestruzzo non dà alcun contributo alla resistenza:

$$N_{Rd} = A_s \cdot \sigma_s$$

$$N_{Rd} = A_s \cdot f_{yd}$$

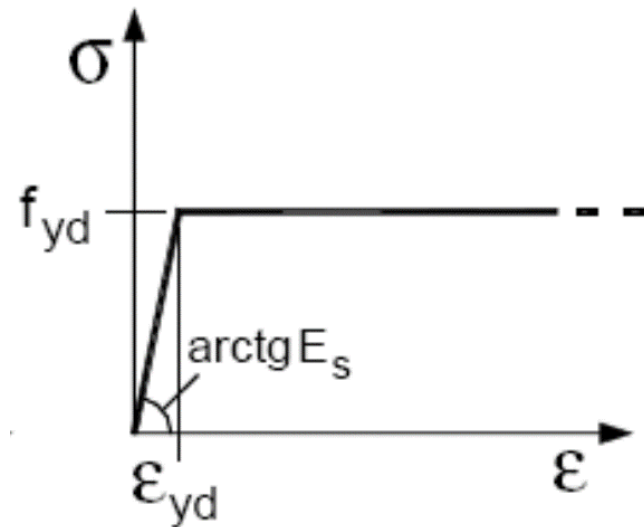
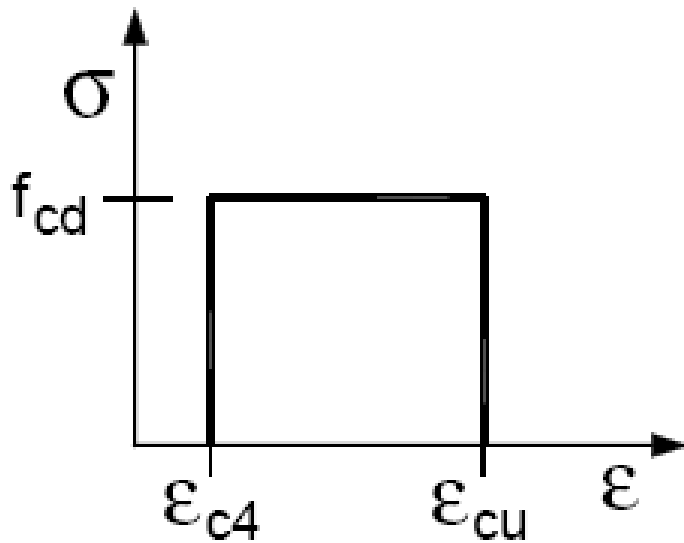
Azione normale resistente di compressione

Il collasso avviene a causa della rottura del calcestruzzo, che raggiunge la deformazione ultima a rottura pari a 0.002. Le barre di armatura contribuiscono alla resistenza:

$$N_{Rd} = A_c \cdot \sigma_c + A_s \cdot \sigma_s$$

- Lo **stato tensionale** nel calcestruzzo σ_c e nell'acciaio σ_s **si valuta in funzione dello stato di deformazione** dei materiali.
- La deformazione del calcestruzzo a rottura per compressione vale $\varepsilon_{cu} = 0.002$.
- Per la perfetta aderenza acciaio calcestruzzo si ha che $\varepsilon_c = \varepsilon_s$.

Azione normale resistente di compressione



$$\epsilon_{cu} = 0.35\%$$

$$\epsilon_{c4} = 0.07\%$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{391.3}{200000} = 0.001956 \cong 0.002$$

Azione normale resistente di compressione

La Circolare Ministeriale al punto C4.1.2.3.4.2 indica in maniera esplicita **l'azione normale resistente a compressione** per la verifica dei **pilastrati compressi**.

$$\sigma_c = 0.8 \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_s = f_{yd}$$

$$N_{Rd} = A_c \cdot 0.8 \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

La riduzione della capacità resistiva del calcestruzzo ci cautea dalla condizione che il carico potrebbe non essere perfettamente assiale.

Disposizioni costruttive

4.1.6.1.2 *Armatura dei pilastri*

Nel caso di elementi sottoposti a prevalente sforzo normale, le barre parallele all'asse devono avere diametro maggiore od uguale a 12 mm e non potranno avere interassi maggiori di 300 mm. Inoltre la loro area non deve essere inferiore a

$$A_{s,\min} = (0,10 N_{Ed} / f_{yd}) \text{ e comunque non minore di } 0,003 A_c \quad (4.1.44)$$

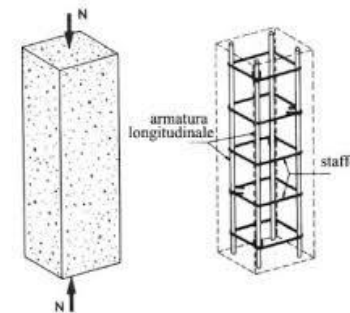
f_{yd} è la resistenza di calcolo dell'armatura (riferita allo snervamento)

N_{Ed} è la forza di compressione assiale di calcolo

A_c è l'area di calcestruzzo.

Le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l'armatura longitudinale, con un massimo di 250 mm. Il diametro delle staffe non deve essere minore di 6 mm e di $\frac{1}{4}$ del diametro massimo delle barre longitudinali.

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura non deve superare $A_{s,\max} = 0,04 A_c$, essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.



Disposizioni costruttive

4.1.6.1.3 *Copriferro e interferro*

L'armatura resistente deve essere protetta da un adeguato ricoprimento di calcestruzzo. Gli elementi strutturali devono essere verificati allo stato limite di fessurazione secondo il § 4.1.2.2.4.

Al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature.

Per consentire un omogeneo getto del calcestruzzo, il copriferro e l'interferro delle armature devono essere rapportati alla dimensione massima degli inerti impiegati.

Il copriferro e l'interferro delle armature devono essere dimensionati anche con riferimento al necessario sviluppo delle tensioni di aderenza con il calcestruzzo.



Disposizioni costruttive

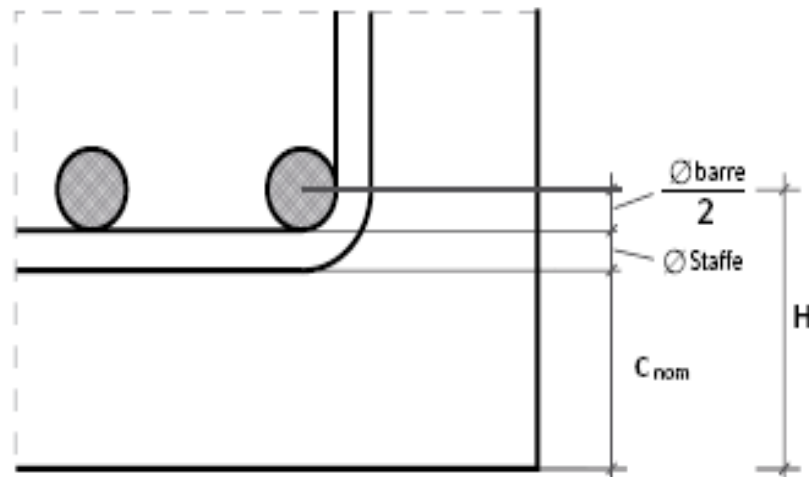
Tabella C4.1.IV Copriferrì minimi in mm

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

- Ai valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.
- I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2).

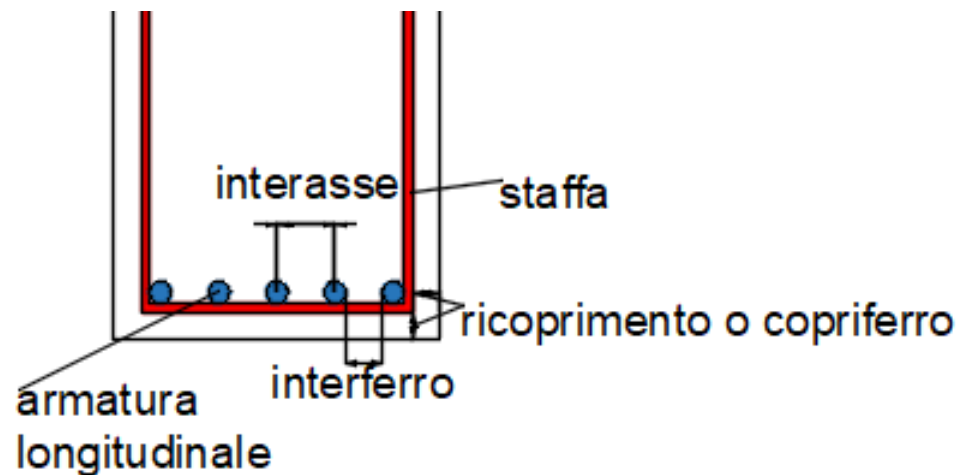
Disposizioni costruttive

- Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm.
- Per classi di resistenza inferiori a C_{\min} i valori della tabella sono da aumentare di 5 mm.
- Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5 mm.



Disposizioni costruttive

- La Normativa Italiana non esplicita valori precisi dell'**interferro**.
- A tale proposito si può fare riferimento all'Eurocodice 2 (EC2) - UNI EN 1992-1-1, che nella sezione 8.2 riporta: «La distanza tra le barre deve essere tale da consentire messa in opera e compattazione del calcestruzzo soddisfacenti per lo sviluppo di un'aderenza».



Disposizioni costruttive

- Si raccomanda che l'**interferro**, ossia la distanza libera (orizzontale e verticale) tra singole barre parallele o strati orizzontali di barre parallele non sia minore del massimo tra:
 - diametro della barra;
 - diametro max dell'aggregato + 5 mm (diametro max dell'aggregato circa pari a 16 mm);
 - 20 mm.
- Quando le barre sono disposte in strati orizzontali separati, si raccomanda che le barre di ogni singolo strato siano poste verticalmente una sopra l'altra. Si raccomanda che ci sia spazio sufficiente tra gli allineamenti verticali risultanti per permettere il passaggio di vibratorii e ottenere una buona compattezza del calcestruzzo.

Disposizioni costruttive

- Barre sovrapposte possono essere a contatto lungo la lunghezza di sovrapposizione.

4.1.6.1.4 Ancoraggio delle barre e loro giunzioni

Le armature longitudinali devono essere interrotte ovvero sovrapposte preferibilmente nelle zone compresse o di minore sollecitazione.

La continuità fra le barre può effettuarsi mediante:

sovrapposizione, saldature e giunzioni meccaniche

- sovrapposizione, calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra. In ogni caso la lunghezza di sovrapposizione nel tratto rettilineo deve essere non minore di 20 volte il diametro della barra. La distanza mutua (interferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro;

Ancoraggio delle barre

4.1.6.1.4 *Ancoraggio delle barre e loro giunzioni*

Le armature longitudinali devono essere interrotte ovvero sovrapposte preferibilmente nelle zone compresse o di minore sollecitazione.

La continuità fra le barre può effettuarsi mediante:

- Sovrapposizione
- Saldature
- Giunzioni meccaniche

- sovrapposizione, calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra. In ogni caso la lunghezza di sovrapposizione nel tratto rettilineo deve essere non minore di 20 volte il diametro della barra. La distanza mutua (interferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro;

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

4.1.2.1.1.4 Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

La resistenza tangenziale di aderenza di progetto f_{bd} vale:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c \quad [4.1.6]$$

dove:

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, pari a 1,5;

f_{bk} è la resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da:

$$f_{bk} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk} \quad [4.1.7]$$

in cui

$\eta_1 = 1,0$ in condizioni di buona aderenza;

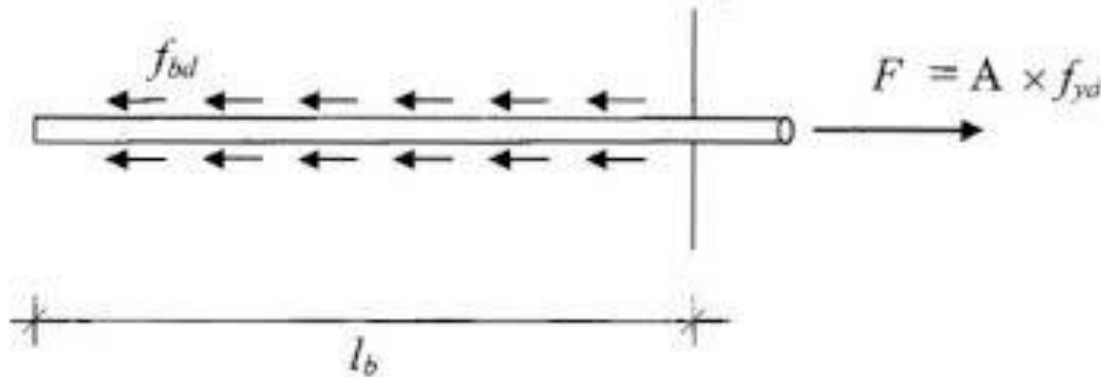
$\eta_1 = 0,7$ in condizioni di non buona aderenza, quali nei casi di armature molto addensate, ancoraggi in zona tesa, ancoraggi in zone superiori di getto, in elementi strutturali realizzati con casseforme scorrevoli, a meno che non si adottino idonei provvedimenti;

$\eta_2 = 1,0$ per barre di diametro $\Phi \leq 32$ mm

$\eta_2 = (132 - \Phi)/100$ per barre di diametro superiore

La lunghezza di ancoraggio di progetto e la lunghezza di sovrapposizione sono influenzate dalla forma delle barre, dal copriferro, dall'effetto di confinamento dell'armatura trasversale, dalla presenza di barre trasversali saldate, dalla pressione trasversale lungo la lunghezza di ancoraggio e dalla percentuale di armatura sovrapposta rispetto all'armatura totale. Per le regole di dettaglio da adottare si potrà fare utile riferimento alla sezione 8 di UNI EN 1992-1-1:2015.

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo



Per l'equilibrio alla traslazione della singola barra deve risultare:

$$f_{bd} \cdot \text{superficie laterale della barra di lunghezza } l_b \\ = \\ \text{Area della sezione della barra} \cdot f_{yd}$$

per l'equilibrio alla traslazione:

$$l_d = \frac{f_{yd} \cdot \pi \cdot \frac{\Phi^2}{4}}{f_{bd} \cdot \pi \cdot \Phi}$$

$$\tau_{d,medio} = f_{bd}$$

$$f_{bk} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk}$$

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{1.5} = \frac{2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk}}{1.5}$$

- $\eta_1 = 1$ per Φ minore o uguale a 32 mm
- $\eta_2 = 1$ in condizioni di buona aderenza e 0.7 in condizioni di cattiva aderenza

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

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

Ad esempio per un calcestruzzo di classe C35/45, acciaio B450C e barra di diametro $\Phi = 20$ mm:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot 35^{2/3} = 3.21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot 3.21 = 2.25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{1.5} = \frac{2.25 \cdot 1 \cdot 0.7 \cdot 2.25}{1.5} = 2.36 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{450}{1.15} = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$l_d = \frac{391.3 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4}}{2.36 \cdot \pi \cdot 20} = 829 \text{ mm} \cong 40\Phi$$