

**CALCESTRUZZO ARMATO**  
**NORME APPLICABILI ALLE ARMATURE**

Scheda N°:

**9**

**Nota generale:** le indicazioni nel seguito riportate sono tratte dalle norme francesi BAEL 91 rev. 99. In considerazione della origine comune delle norme europee (Eurocodici) si ritiene comunque utile evidenziare i concetti di base della progettazione delle armature da verificare con le norme nazionali applicabili.

**1 Copriferro**

Il copriferro ( $C$ ) è la distanza tra l'asse della barra e il paramento, meno il semidiametro. Il copriferro viene determinato dalla più vincolante delle condizioni che vengono esaminate di seguito.

**Condizioni minime**

Il copriferro sarà pari a:

- $C \geq \emptyset$ , se la barra è isolata; oppure:
- $C \geq a$  (dove  $a$  indica la larghezza del gruppo di barre a cui essa appartiene).

**Protezione delle armature**

La protezione delle armature sarà pari a:

- 5 cm per le opere costruite in ambienti marittimi o esposte alle intemperie o alle nebbie saline, nonché per le opere esposte ad atmosfere particolarmente aggressive;
- 3 cm per i paramenti, armati o meno, soggetti ad azioni aggressive, alle intemperie o alla formazione di condensa, oppure a contatto con un liquido;
- 2 cm per i paramenti esposti alle intemperie, alla formazione di condensa o a contatto con un liquido, se la resistenza del calcestruzzo  $f_{c28}$  è superiore a 40 MPa;
- 1 cm o  $a$  per i paramenti posti all'interno di locali coperti e chiusi non esposti alla formazione di condensa.

**Stabilità al fuoco**

All'occorrenza, ci si atterrà alle indicazioni delle specifiche regole di calcolo che possono portare a copriferri di notevole entità.

## 2 Spaziatura delle armature

Possono verificarsi due diversi casi.

- La spaziatura delle armature trasversali è superiore al doppio della distanza libera tra le barre longitudinali:

– distanza libera orizzontale ( $e_h$ ) tra due barre vicine:

$$e_h \geq \emptyset \text{ o } a$$

$$e_h \geq 1,5 C_g$$

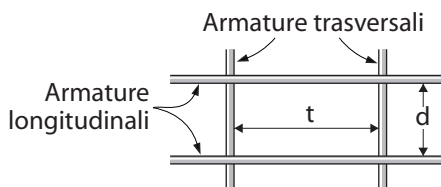
– distanza libera verticale ( $e_v$ ) tra due barre vicine:

$$e_v \geq \emptyset \text{ o } a$$

$$e_v \geq C_g$$

dove  $C_g$  indica la dimensione dell'aggregato.

- La spaziatura delle armature trasversali è inferiore al doppio della distanza libera tra le barre longitudinali.



d: spaziatura tra due armature longitudinali

t: spaziatura tra due armature trasversali

Figura 1

**Definizione delle spaziature.**

Se si considera:

$$r_g = \frac{dt}{2(d+t)}$$

è necessario che:

- $r_g \geq \frac{C_g}{1,4}$ , se gli aggregati sono tondi;

- $r_g \geq \frac{C_g}{1,2}$ , se gli aggregati sono frantumati;

dove:

$r_g$ : raggio idraulico equivalente di betonaggio;

d: spaziatura tra due armature longitudinali;

t: spaziatura tra due armature trasversali.

### Nota

*Nei gruppi di due barre con diametro  $\geq 10$  mm, gli assi delle barre devono essere posizionati su un piano verticale. I gruppi di quattro o più barre non sono ammessi se sono soggetti a forze di trascinamento.*

*Il diametro delle barre di una soletta deve essere al massimo pari a 1/10 dello spessore della soletta stessa.*

*Le barre compresse prese in considerazione nei calcoli devono essere trattate da armature trasversali distanti al massimo 15 volte il diametro.*

– Il diametro delle armature d'anima è al massimo pari:

–  $a \frac{h}{35}$  dove  $h$  è l'altezza totale della trave;

– al diametro delle barre longitudinali;

– a 1/10 della larghezza d'anima.

### 3 Ancoraggio

La sollecitazione di aderenza allo stato limite ultimo ( $\tau_{su}$ ) viene espressa con la seguente formula:

$$\tau_{su} = 0,6 \psi_s^2 f_{tj}$$

dove:

$f_{tj}$ : resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo ( $f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj}$ , in MPa);

$\psi_s$ : coefficiente di inghisaggio ( $\psi_s = 1$  per le barre lisce,  $\psi_s = 1,5$  per le barre ad alta aderenza).

Nella tabella riportata di seguito (estratta dalle norme BAEL 91 rev. 99), vengono indicati i valori di  $\tau_{su}$  in funzione di alcuni valori di  $f_{c28}$  (in caso di tondini lisci e di barre ad alta aderenza).

Sollecitazione di aderenza allo stato limite ultimo in funzione di alcuni valori di resistenza del calcestruzzo			
$f_{cj}$ (in MPa)	$f_{tj}$ (in MPa)	$\tau_{su}$ (in MPa)	
		$\psi_s = 1$	$\psi_s = 1,5$
20	1,8	1,1	2,4
25	2,1	1,3	2,8
30	2,4	1,4	3,2
35	2,7	1,6	3,6
40	3	1,8	4,0
45	3,3	2,0	4,5
50	3,6	2,2	4,9
55	3,9	2,3	5,3
60	4,2	2,5	5,7

#### Ancoraggio diritto

- Per gli acciai in barre, la lunghezza di inghisaggio diritto ( $l_s$ ) è pari a:

$$l_s = \frac{\varnothing \cdot f_e}{4\tau_{su}}$$

dove  $f_e$  è il limite elastico dell'acciaio.

Nella realtà, sarà possibile utilizzare:

- 40  $\varnothing$  per le barre ad alta aderenza di tipo Fe E 40, se si verifica la condizione minima per cui  $\psi = 1,5$ ;
- 50  $\varnothing$  per le barre ad alta aderenza di tipo Fe E 50 e gli acciai lisci di tipo Fe E 22 e Fe E 24, se si verifica la condizione minima per cui  $\psi = 1,5$ .

Se la barra fa parte di un gruppo formato da tre elementi, i valori sopra indicati devono essere moltiplicati per 1,5.

La lunghezza di ancoraggio diritto ( $l_s$ ) può essere ridotta nel rapporto della sezione necessaria alla sezione della barra, senza tuttavia scendere al di sotto di 10  $\varnothing$ .

- Per le reti saldate, soltanto le saldature sono in grado di garantire gli sforzi di ancoraggio. Per quanto riguarda i fili principali, sono necessarie tre saldature per ancorare completamente l'acciaio. Per quanto riguarda invece i fili di ripartizione, sono necessarie due sole saldature.

In caso di ancoraggio parziale, è accettabile che una saldatura consenta di ancorare uno sforzo pari a un terzo dello sforzo totale ammissibile per un filo principale e alla metà per un filo di ripartizione.

### Ancoraggio per piegatura

Il diametro minimo di piegatura delle parti curve è limitato:

- dalla condizione di non schiacciamento del calcestruzzo;
- dalla condizione di non incrudimento dell'acciaio al momento della centinatura.

Nella realtà, sarà possibile utilizzare  $3 \varnothing$  per gli acciai lisci di tipo Fe E 22 e Fe E 24 e  $5,5 \varnothing$  per gli acciai ad alta aderenza.

I raggi di curvatura indicati sono quelli corrispondenti all'asse della barra. Le barre che terminano con un gancio normale (Fig. 2) presentano, in mancanza di calcoli maggiormente precisi, una lunghezza di ancoraggio pari a  $0,60 l_s$  per le barre lisce e a  $0,40 l_s$  per le barre ad alta resistenza.

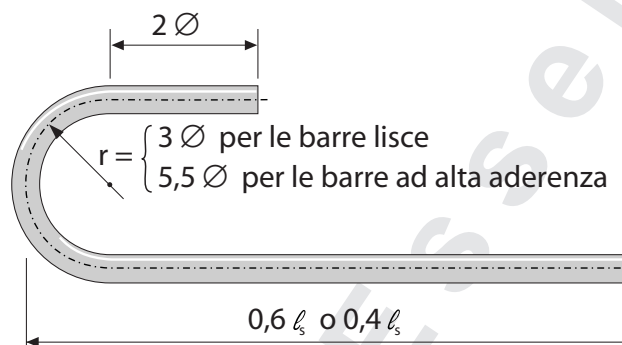


Figura 2

Gancio normale.

### Ancoraggio di telai, staffe e spinotti

- Per gli acciai lisci in barre, il raggio di curvatura può essere ridotto a  $2 \varnothing$ . Si considera che l'ancoraggio sia garantito se le parti curve si estendono di:
  - $5 \varnothing$  oltre un arco di cerchio di  $180^\circ$ ;
  - $10 \varnothing$  oltre un arco di cerchio di  $135^\circ$ ;
  - $15 \varnothing$  oltre un arco di cerchio di  $90^\circ$ .
- Per le reti saldate, le lunghezze estese oltre la parte curva per ottenere l'ancoraggio sono di:
  - $15 \varnothing$  dopo un arco di cerchio di  $180^\circ$ ;
  - $20 \varnothing$  dopo un arco di cerchio di  $135^\circ$ .

Inoltre, dopo un arco di cerchio di  $90^\circ$  la parte rettilinea deve obbligatoriamente essere saldata su un filo perpendicolare.

## 4 Ricoprimento

- Per le barre rettilinee, la lunghezza di ricoprimento ( $l_r$ ) è pari alla lunghezza di ancoraggio diretto ( $l_s$ ) se la distanza (C) tra gli assi delle barre è  $\leq 5 \varnothing$ . In caso contrario:  $l_r = l_s + C$ .

Nel caso dei pilastri,  $l_r \geq 0,6 l_s$  a condizione che:

- le barre siano sempre compresse;
- gli interassi delle barre in giunzione siano  $< 5 \varnothing$ ;
- la barra non appartenga a un gruppo composto da tre elementi.

ART. A 6.1,253

- Il ricoprimento con ganci normali sarà pari a:
  - se  $C \leq 5 \varnothing$ :
    - $l_r = 0,6 l_s$  per le barre lisce;
    - $l_r = 0,4 l_s$  per le barre ad alta aderenza;
  - se  $C > 5 \varnothing$ :
    - $l_r = 0,6 l_s + C$  per le barre lisce;
    - $l_r = 0,4 l_s + C$  per le barre ad alta aderenza.

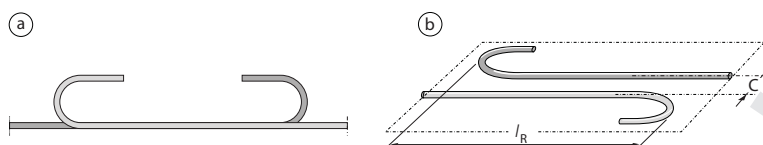


Figura 3

Ancoraggio: vista verticale (a) e vista in pianta (b).

- Nel caso delle reti saldate, sono necessarie tre saldature per i fili principali e due per i fili di ripartizione. Se i piani dei fili da ricoprire non coincidono, è necessario aumentare la lunghezza di ricoprimento ( $l_r$ ) di 4 cm.

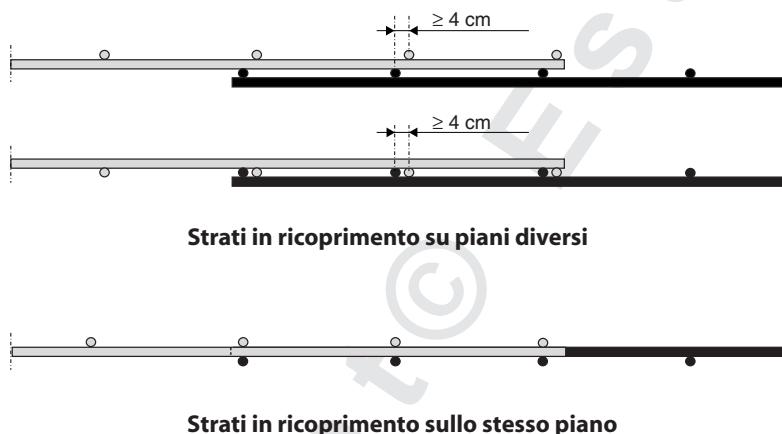


Figura 4

Strati in ricoprimento.

## 5 Armature di legatura

Le zone di ancoraggio (di appoggio o di ricoprimento) devono comprendere armature di legatura che circondino le armature da ancorare. La loro sezione, suddivisa sulla lunghezza di ancoraggio, è tale per cui:

$$\Sigma A_t f_{et} \geq A_s f_e$$

dove:

$A_s$ : sezione della barra da ancorare con limite elastico ( $f_e$ );

$\Sigma A_t$ : sezione degli acciai di legatura con limite elastico ( $f_{et}$ ).

Quando lo sforzo della barra in ricoprimento viene ripreso da più barre, le armature di legatura vengono calcolate con il massimo sforzo sviluppato in queste barre.

Si suppone che le armature d'anima delle travi siano sufficienti a formare le armature di legatura qualora la proporzione di barre ancorate non superi il 25% sull'estensione di una lunghezza di ancoraggio.

Nelle solette e nei setti curvi, non è necessario eseguire una legatura finché la proporzione delle barre in ricoprimento è inferiore a:

$\frac{1}{3}$  per lo strato più vicino alla parete;

$\frac{1}{2}$  per lo strato separato dalla parete per mezzo di uno strato perpendicolare.

Queste soluzioni non sono applicabili alle reti saldate.

### Legatura degli ancoraggi curvi

La sezione delle armature di legatura è almeno pari alla metà della sezione che sarebbe necessaria per un inghisaggio diritto.

Nelle solette e nei setti curvi, le legature non sono necessarie se gli ancoraggi per curvatura sono annegati nella massa del calcestruzzo.

### Soluzioni con armature di legatura

Per le soluzioni strutturali con armatura, si segnala l'apposita legatura.

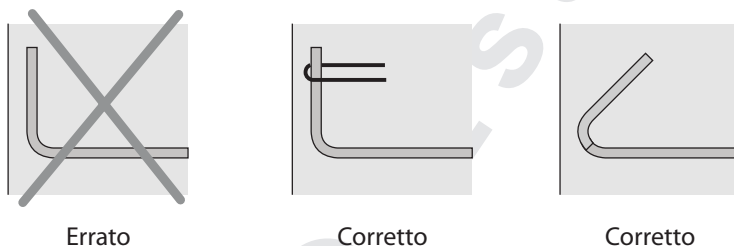


Figura 5

**Esempi di soluzioni con armature di legatura.**

# CALCESTRUZZO ARMATO DISPOSIZIONE DELLE ARMATURE

10

## 1 Spinte a vuoto

Il funzionamento della struttura deve essere analizzato in modo tale da assicurarsi che gli sforzi applicati alle armature non diano luogo a una spinta a vuoto nelle zone di calcestruzzo superficiali o con legatura insufficiente.

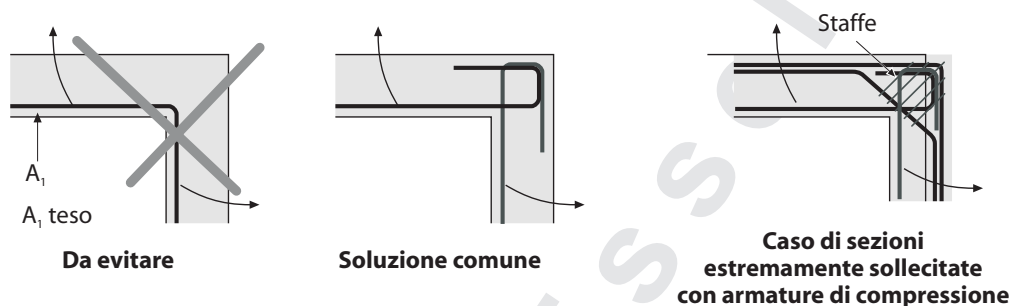


Figura 1

**Soluzioni comuni di armature d'angolo.**

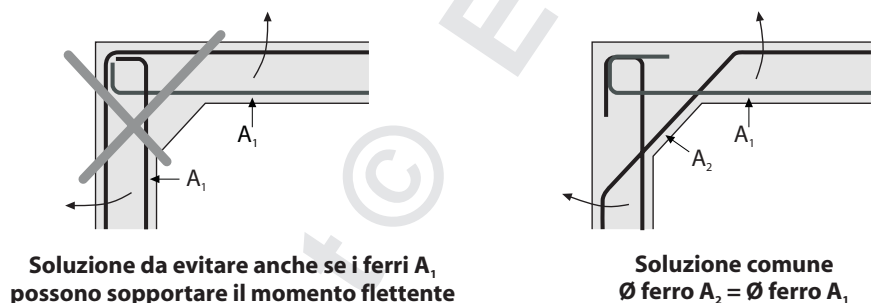


Figura 2

**Soluzioni d'angolo con mensole triangolari di rinforzo.**

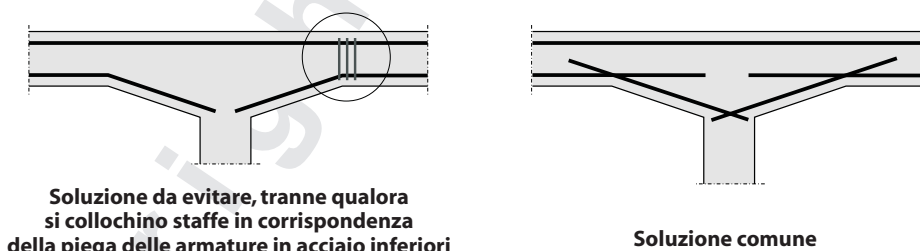
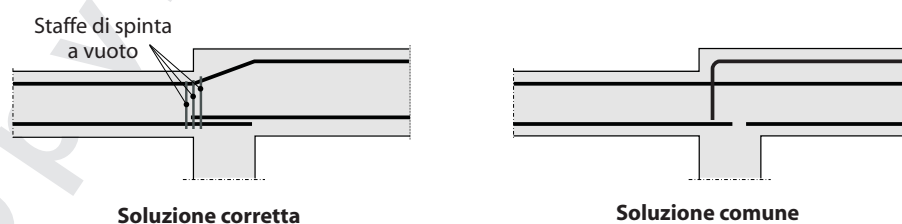


Figura 3

**Cambiamento di direzione delle armature di travi.**



Nella figura 4a, le staffe  $A_1$  devono essere calcolate per sopportare l'intera spinta a vuoto. Le staffe  $A_2$  sono armature di mensola calcolate per sopportare la parte di spinta a vuoto che agisce sulla semimembratura sporgente sull'anima. Se la sporgenza è troppo grande, si potrà prevedere un montante in calcestruzzo armato.

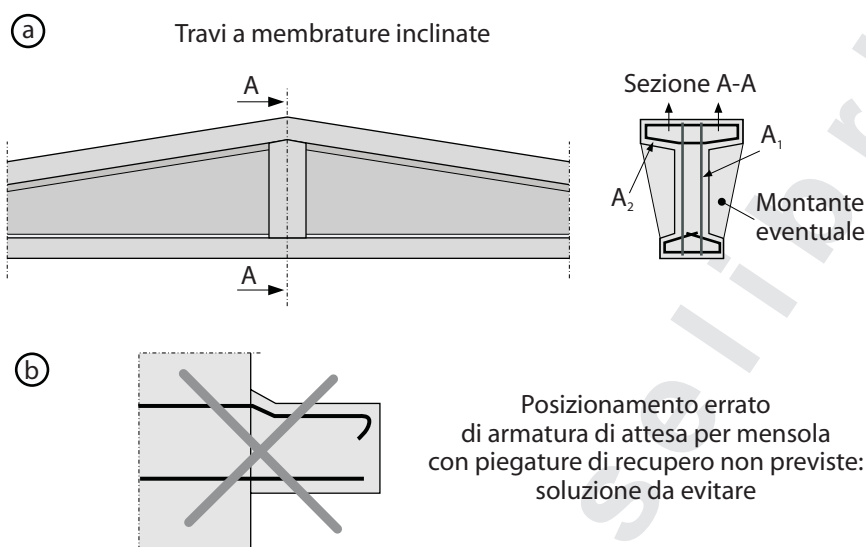


Figura 4

Trave a membrature inclinate.

## 2 Opere particolari

### Portali

Nella figura 5 sono rappresentati due angoli di portali. Nel nodo devono essere collocate apposite staffe, per legare il ricoprimento delle armature di trave  $A_1$  e delle armature di pilastro  $A_2$ . È possibile prolungare nel nodo le staffe del pilastro quando il ricoprimento è verticale (Fig. 5a) oppure prolungare nel nodo le staffe della trave quando il ricoprimento è orizzontale (Fig. 5b). Devono inoltre essere previste armature a "U" trasversali, per evitare i rischi di rottura del calcestruzzo.

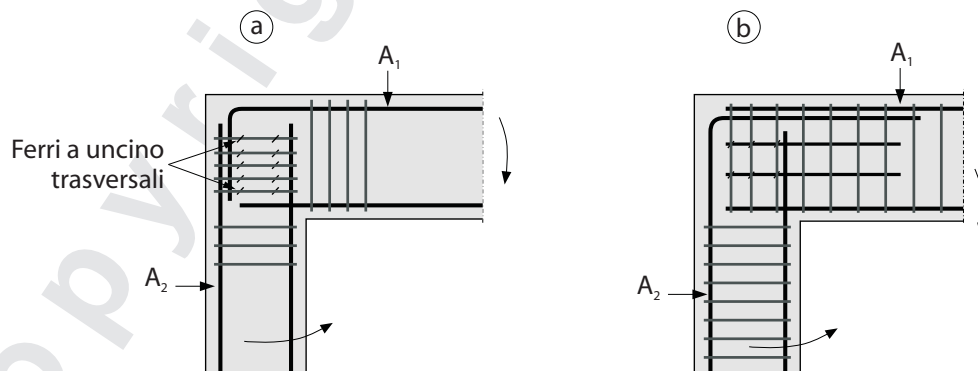


Figura 5

Armatura angolare di portale con ricoprimento verticale (a) o orizzontale (b) delle armature in acciaio.



### Mensole

Le armature in acciaio  $A_1$  e  $A_2$ , rappresentate nella figura 6a, sono disposte in ricoprimento. L'estremità di  $A_3$  viene determinata in base alla curva dei momenti e le armature in acciaio  $A_3$  non richiedono alcun ricoprimento. Le armature in acciaio intermedie del pilastro e quelle intermedie della mensola formano una griglia sulle facce laterali del nodo.

Le armature trasversali della mensola "legano" il ricoprimento delle barre  $A_1$  e  $A_2$ . Sono anche previste armature a "U" trasversali.

In caso di forti inclinazioni della mensola, le staffe devono essere perpendicolari alla linea media. In presenza di lievi inclinazioni della mensola, è possibile prevedere staffe verticali a condizione di tenere conto dell'inclinazione che, in tal caso, aumenta la sezione dell'acciaio per unità di lunghezza.

Per sezioni estremamente sollecitate (Fig. 6b), si osserva talvolta una fessura di andamento BC. La soluzione migliore per evitarla consiste nel posizionare legature ortogonali alla retta BC.

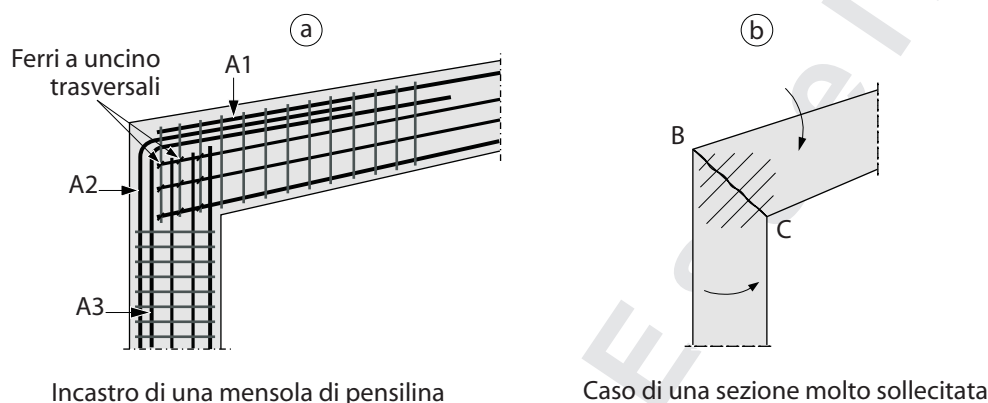


Figura 6

**Soluzioni consigliate per le mensole di pensiline.**

### Travi

La soluzione che consiste nel disporre di armature in acciaio inferiori senza ancoraggio o scarsamente ancorate (Fig. 7a) è da evitare, anche se le condizioni di appoggio possono essere verificate conformemente alle regole di calcolo.

Nel caso di una trave inclinata, le staffe posizionate verticalmente non attraversano a sufficienza le fessure dello sforzo di taglio inclinate a  $45^\circ$  sulla linea media. La sicurezza non è garantita. Le staffe devono essere disposte in base al calcolo effettuato, ossia perpendicolarmente alla linea media (Fig. 7b).

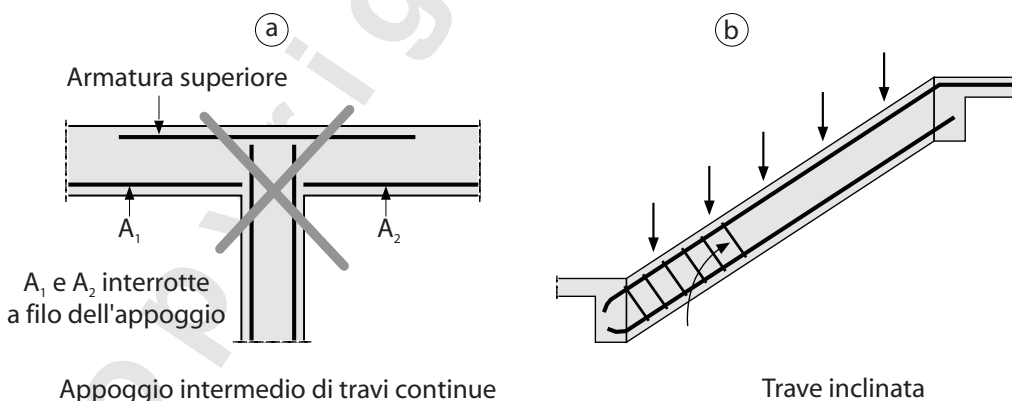


Figura 7

**Soluzioni con armature consigliate per le armature longitudinali e trasversali delle travi.**

**Scale**

*Gradini a mensole indipendenti le une dalle altre nelle scale elicoidali a nucleo centrale*

Nel punto di incrocio, l'inclinazione dei segmenti non corrisponde a quella che dovrebbero avere le armature in acciaio in un aggetto (Fig. 8a).

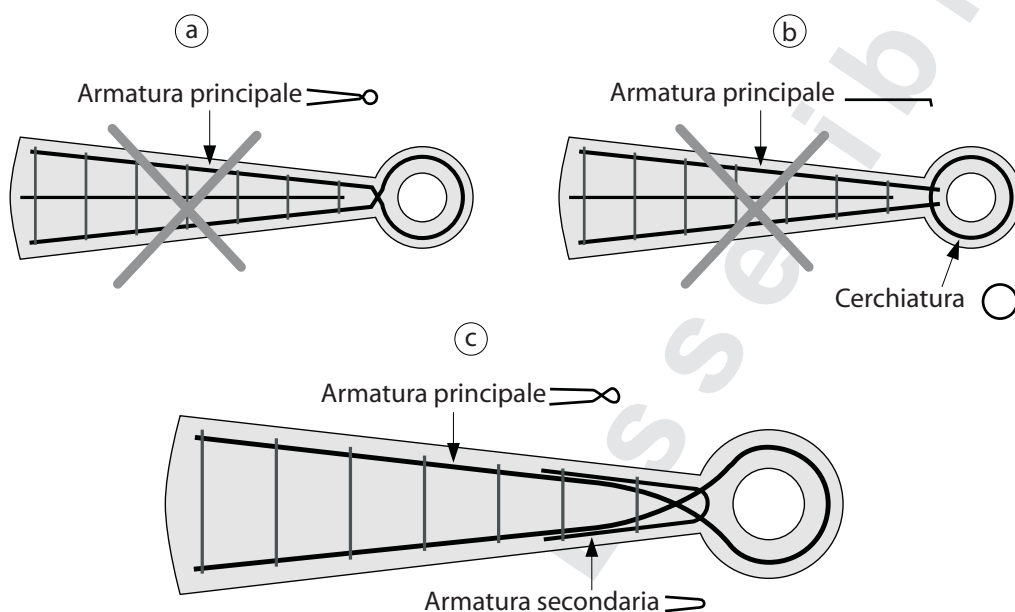


Figura 8

**Soluzioni particolari nel punto di incrocio tra il nucleo e il gradino.**

Lo sforzo in corrispondenza della piega delle armature principali non può essere supportato da un'armatura perpendicolare (cerchiatura) (Fig. 8b).

*Gradini a mensole angolari nelle scale elicoidali a nucleo centrale*

I gradini poggiano gli uni sugli altri (Fig. 9).

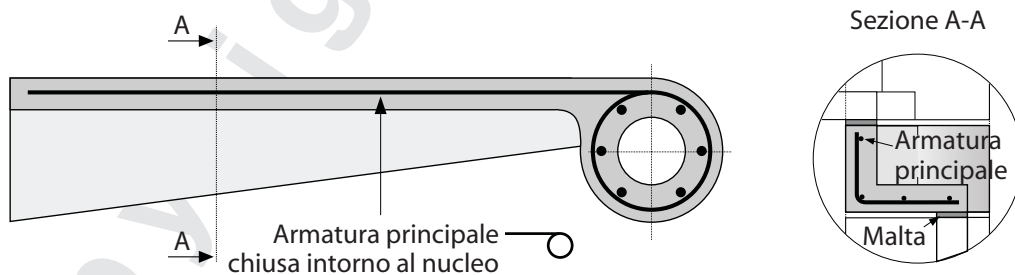


Figura 9

**Appoggio dei gradini gli uni sugli altri.**

Quando ci si discosta da questo tipo di cassaforma (alzata tangente alla corona del nucleo centrale), è pressoché impossibile ottenere soluzioni con armature soddisfacenti.

### 3 Posizione delle riprese di getto

La verifica consiste nell'applicare, in mancanza di risultati sperimentali che forniscano basi di calcolo sicure, la seguente disuguaglianza:

$$\frac{A_t f_e}{b_c S_t \gamma_s} (\cos \alpha + \sin \alpha) \geq \tau_u - \sigma_u$$

dove:

$A_t$ : somma delle aree delle sezioni trasversali delle armature in acciaio che costituiscono un'armatura d'attacco;

$S_t$ : spaziatura tra queste armature d'attacco parallelamente al piano sollecitato;

$b_c$ : spessore del calcestruzzo preso in considerazione per valutare le sollecitazioni esercitate sul piano in oggetto, vale a dire la sollecitazione tangente ( $\tau_u$ ) e la sollecitazione normale ( $\sigma_u$ ); quest'ultima viene considerata positiva per le compressioni e negativa per le trazioni (è necessario attirare l'attenzione sul fatto che la resistenza al taglio degli elementi tesi è mediocre);

$f_e$ : limite di elasticità garantita delle armature d'attacco;

$\alpha$ : angolo delle armature d'attacco (compreso tra 45° e 90°) rispetto al piano sollecitato;

$\gamma_s$ : coefficiente definito dalle norme nazionali di recepimento degli Eurocodici.

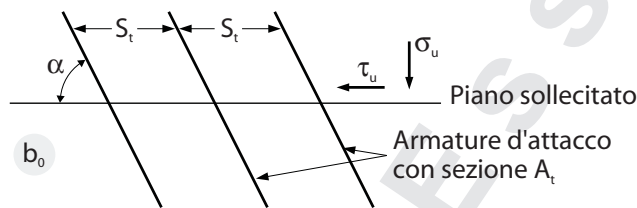
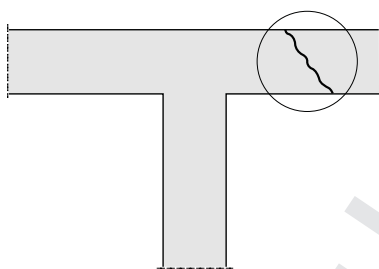
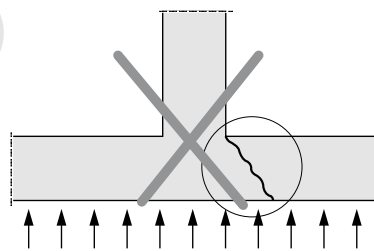


Figura 10

**Soluzioni da rispettare per la ripresa di getto.**



Trave su appoggio intermedio



Trave di fondazione a platea