

Fasi progettuali e dettagli di un edificio multipiano a struttura intelaiata in c.a.

CAPITOLO 8 – PARTE B

GLI ELABORATI ESECUTIVI

Le fasi di definizione di massima e le successive fasi di affinamento, analisi e verifica di dettaglio di tutte le componenti strutturali devono, nel coronamento finale del processo progettuale, trovare la corretta traduzione nei **disegni esecutivi di cantiere**.

Questi rappresentano, in maniera pressoché esclusiva, il **codice di comunicazione** fra progettista ed esecutori, per i quali i disegni esecutivi finiscono per essere la principale guida operativa.

È pertanto fondamentale che questo codice di comunicazione sia semplice, chiaro ed inequivocabile, fatto di un linguaggio condiviso che non lasci spazio ad errori dovuti a cattiva interpretazione delle informazioni contenute nei suddetti elaborati.

GLI ELABORATI ESECUTIVI

Nell'ambito della progettazione strutturale degli edifici in c.a. possono definirsi tre categorie distinte di elaborati grafici:

1. le **tavole di tracciamento**, che hanno quale finalità l'esatta ubicazione dell'opera e sono pertanto destinate agli operatori di cantiere cui sono demandate le operazioni di topografia e tracciamento;
2. le **tavole di carpenteria**, che hanno quale principale finalità quella di definire posizione e caratteristiche geometriche di tutte le componenti strutturali; tali tavole hanno come destinatari i **carpentieri**, ai quali è demandata la funzione di realizzare le casseforme che accoglieranno i getti di calcestruzzo;
1. le **tavole di armatura**, che hanno la finalità di definire compiutamente la posizione e la fattura delle gabbie di armatura di ciascun elemento; i destinatari di queste tavole sono i **ferraioli**, cioè quel personale di cantiere preposto alla realizzazione delle sagome, al loro assemblaggio ed alla sistemazione nelle relative sedi.

I DISEGNI DI TRACCIAMENTO

I tracciamenti sono applicazioni topografiche volte ad individuare e delimitare sul terreno, quanto si è progettato su carta.

Occorre prestare particolare attenzione, perché errori effettuati in questa fase, sono difficilmente recuperabili.

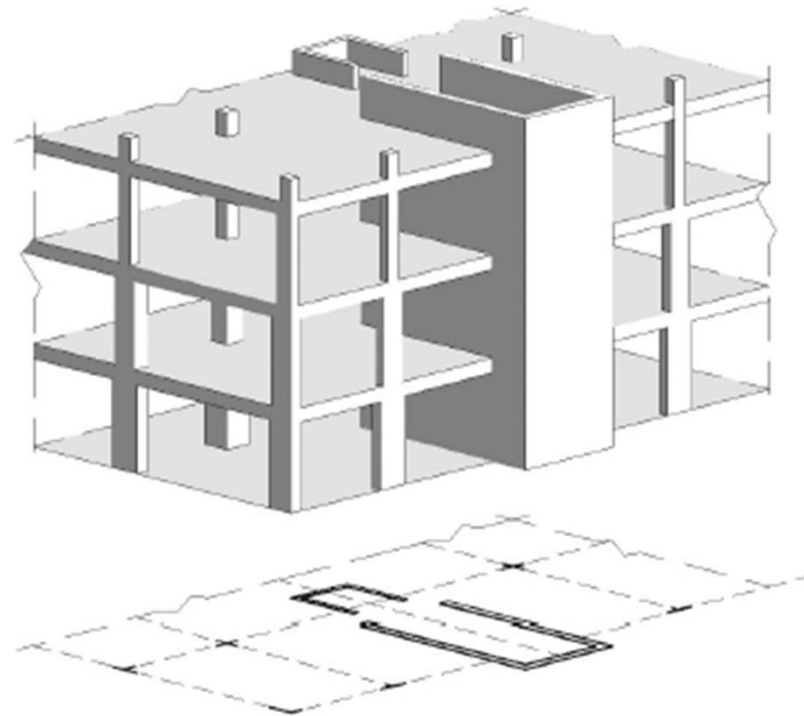
In generale il tracciamento viene effettuato a scavi effettuati, quando dopo aver gettato il magrone per la posa delle fondazioni, è possibile apporre dei picchetti stabili.

Negli elaborati di tracciamento è particolarmente importante la definizione dei «*fili fissi*», cioè di quelle facce di pilastri o pareti che, per tutta l'altezza del fabbricato non subiranno alcun cambiamento planimetrico.

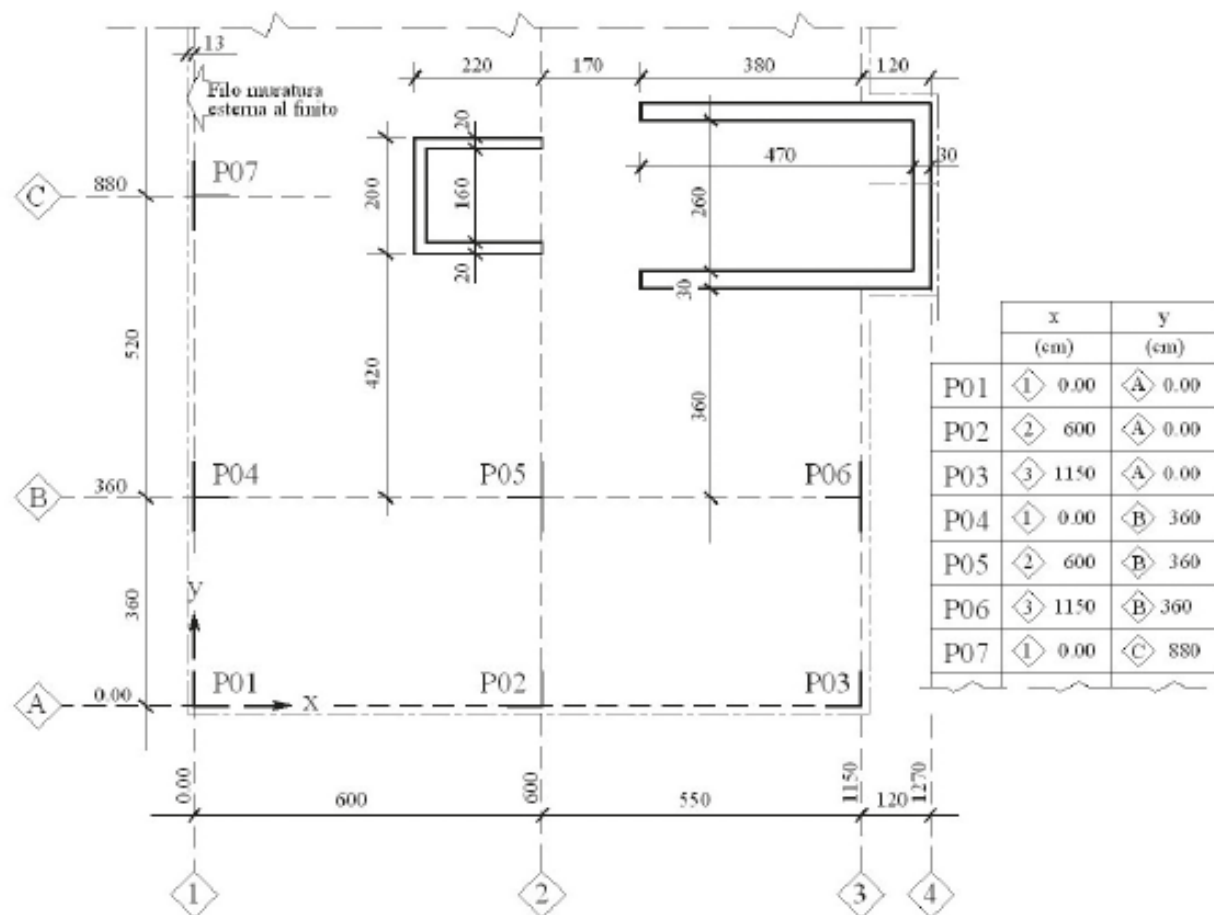
I DISEGNI DI TRACCIAMENTO

Le informazioni fondamentali «**Pianta fili fissi**»:

- a) Un sistema di riferimento secondo due direzioni principali con definizione univoca dell'origine;
- b) Una griglia parallela agli assi i cui incroci definiscono i fili fissi degli elementi verticali;
- c) La definizione delle distanze parziali e progressive delle linee di griglia.
- d) Una tabella contenente le coordinate dell'incrocio dei fili fissi di ciascun elemento riferite al sistema di coordinate prescelto;
- e) L'eventuale traccia dell'involucro esterno finito del fabbricato, cui correlare le posizioni dei fili fissi.



I DISEGNI DI TRACCIAMENTO



*Stralcio di una pianta di tracciamento
o pianta di "fili fissi».*

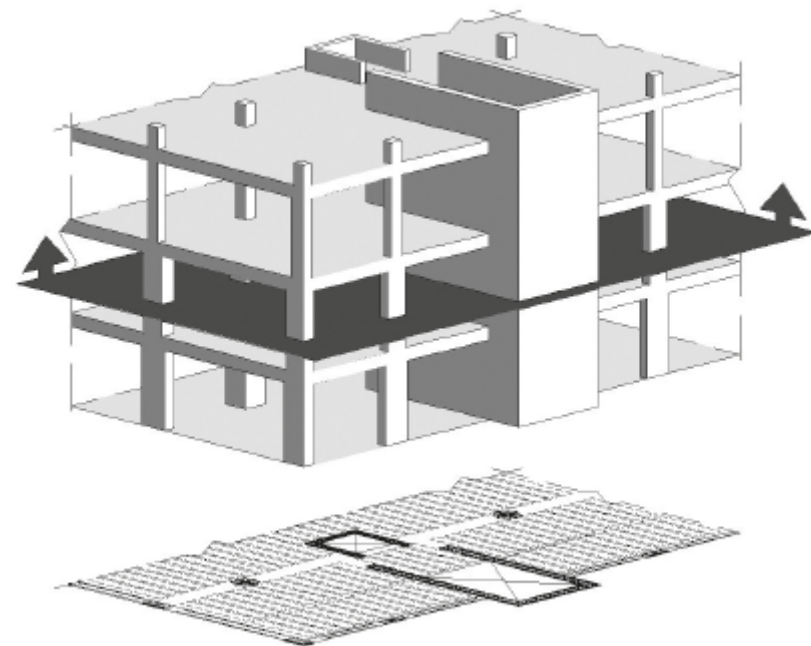
I DISEGNI DI CARPENTERIA

Le tavole di carpenteria sono finalizzate a definire in ogni particolare la geometria delle casseforme che, impalcato per impalcato, dovranno accogliere i getti.

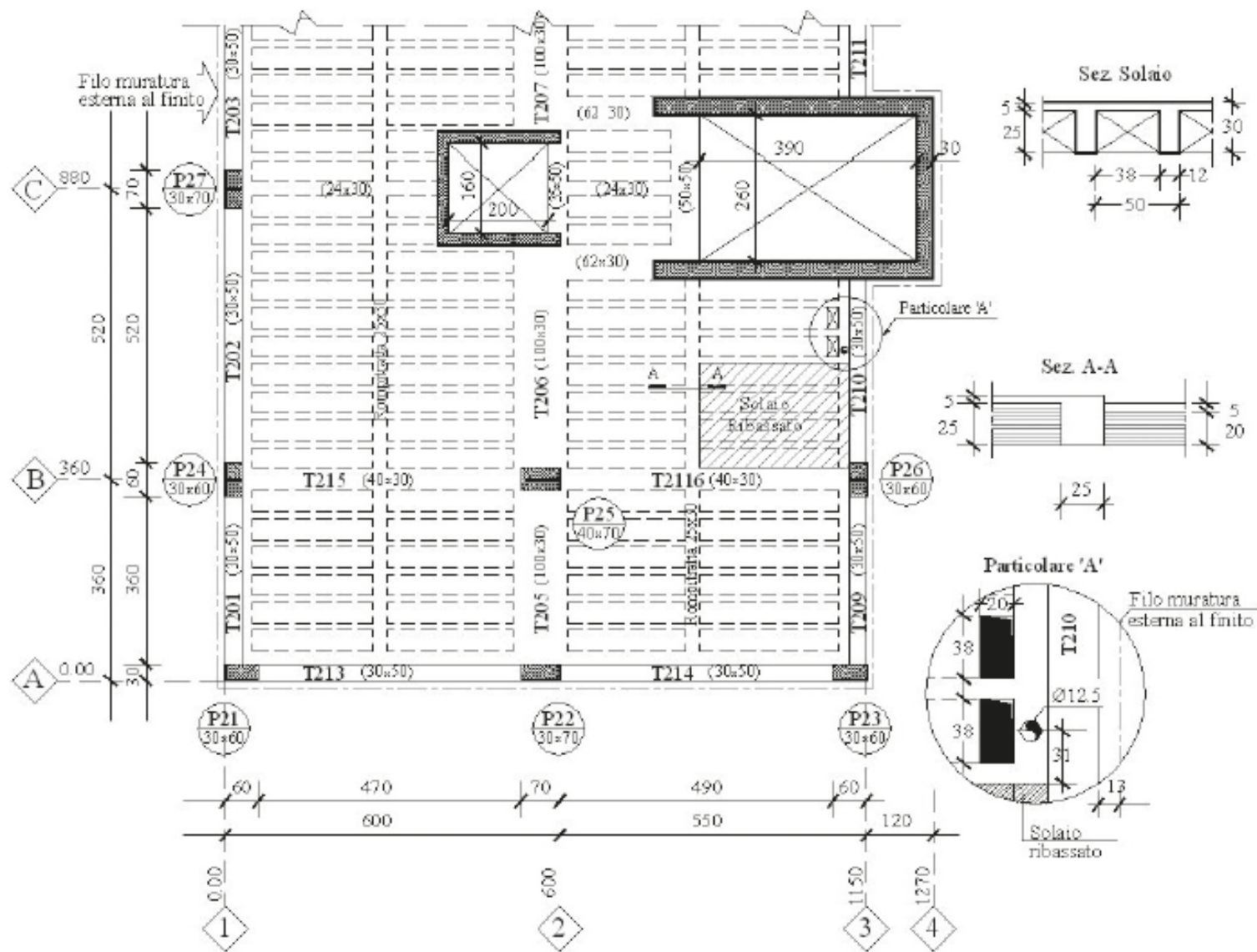
Tali elaborati rappresentano una proiezione ortogonale orizzontale sezionata al di sotto dell'impalcato cui si riferiscono e vista dal basso verso l'alto in modo da evidenziare le strutture portanti.

La pianta di carpenteria di un impalcato è bene che contenga le seguenti informazioni:

- Sulle tavole di carpenteria di ogni impalcato sia riproposta la posizione dei fili fissi con i relativi riferimenti e quotature.
- Sia chiaramente indicato tutto ciò che è contenuto all'interno dello spessore del solaio (convenzionalmente rappresentato con linea tratteggiata) e tutti quegli elementi emergenti (linea continua), adeguatamente corredati di misure e quote necessarie per la loro univoca definizione.



I DISEGNI DI CARPENTERIA

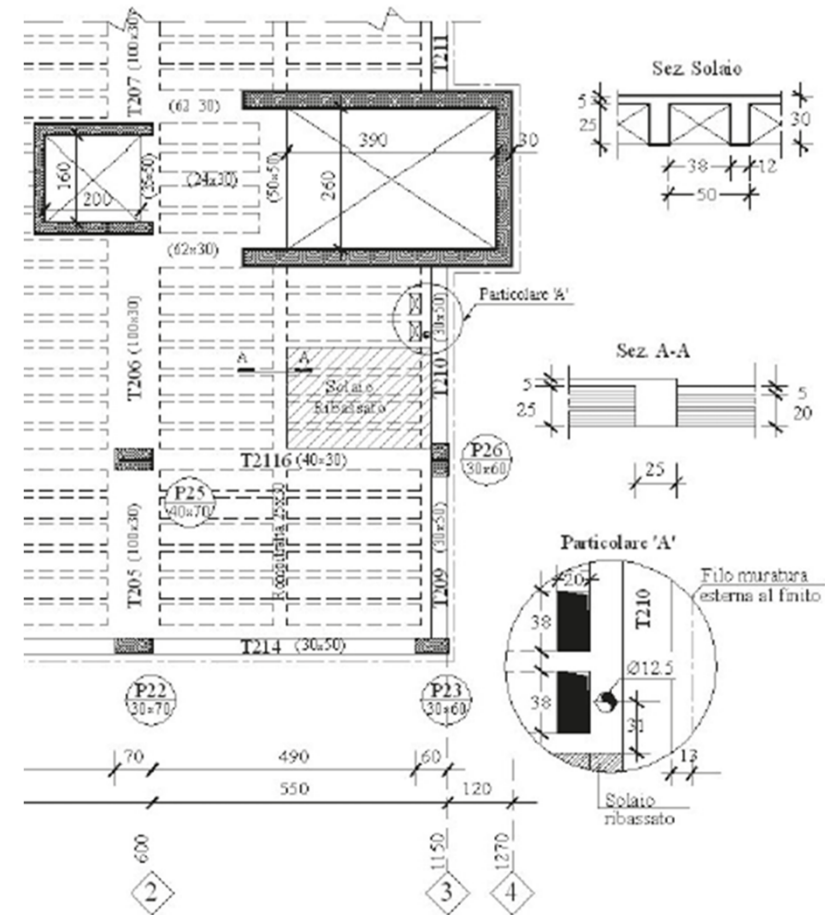


I DISEGNI DI CARPENTERIA

Nel disegno delle aree di solaio devono essere chiare le tipologie, l'orditura, i rompitratta e le zone rialzate o ribassate, gli schemi di montaggio.

Per i solai ad elementi prefabbricati, sarebbe opportuno che in ogni campo di solaio fosse rappresentato il numero e la lunghezza dei travetti.

- Le zone di collegamento verticale (scale, ascensori, ecc.), devono essere chiaramente indicate in carpenteria mediante diagonali ben evidenziate.
- Devono essere riportate con completezza tutte le informazioni relative alla foronomia dell'impalcato, con ogni elemento necessario al corretto posizionamento.
- È indispensabile, per maggiore chiarezza, corredare le carpenterie, con sezioni parziali, stralci a scala maggiore e dettagli vari.
- È bene inserire delle note, relative alla esecuzione ed alla posa in opera, per fornire informazioni più dettagliate, difficilmente rappresentabili graficamente.



IL DISEGNO DELLE ARMATURE

Il disegno corretto e dettagliato delle armature segna un momento fondamentale della progettazione delle strutture in c.a. poiché dalla loro adeguata definizione e disposizione all'interno dei getti dipende il corretto funzionamento statico dell'elemento e della struttura nel suo complesso.

Ottimizzare l'armatura ha, pertanto, solo marginalmente il significato di una minimizzazione di peso (quasi mai accompagnata da una significativa economia nei costi di realizzazione); più correttamente significa individuare la più razionale distribuzione delle barre che garantisca, accanto ad un corretto funzionamento strutturale, una facilità di esecuzione e significativi incrementi dei coefficienti di durabilità.

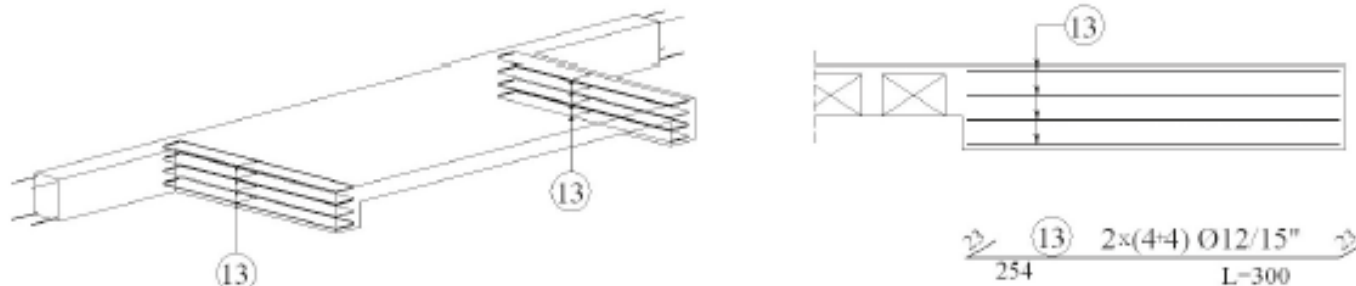
Nella definizione della dislocazione delle armature non bisogna mai perdere di vista il fine principale di ottenere un insieme unico, sufficientemente elastico ed al tempo stesso monolitico nel quale l'efficiente collaborazione di due materiali così profondamente diversi è garantita, in massima parte, dall'aderenza e da un insieme di caratteristiche specifiche che conferiscono ai due materiali una elevata attitudine alla redistribuzione locale degli sforzi. La conoscenza approfondita di tali peculiarità consentirà di operare le scelte più razionali e più convenienti che sfruttino appieno le caratteristiche tipiche del prodotto derivato dalla loro associazione.

È importante inoltre che, nel definire posizioni e sagome, il progettista tenga in debito conto i processi costruttivi e le modalità operative degli assemblaggi e dei getti.

IL DISEGNO DELLE ARMATURE

La definizione delle gabbie di armatura viene demandata a quella classe di elaborati definiti «**tavole di armatura**» in cui vengono normalmente rappresentate tutte le informazioni relative a quantità, tipologia e corretto posizionamento dei vari ferri che sono stati progettati in sede di calcolo:

- all'interno di sezioni e/o di piante con chiamate atte ad indicarne la posizione di montaggio;
- con le singole barre estratte e corredate delle etichette, cioè di tutte quelle informazioni relative alla loro definizione univoca.



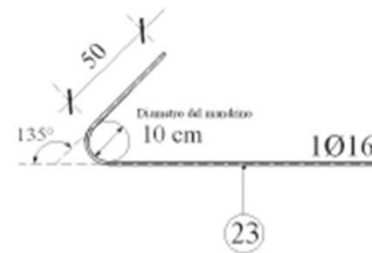
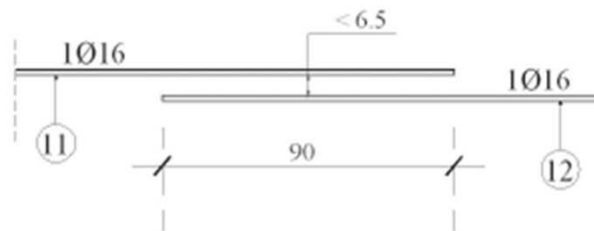
Sulla barra nel senso longitudinale della stessa, si deve riportare:

- la marcatura o numero di posizione o di sagoma;
- il numero degli insiemi costituiti da barre uguali alla sagoma in esame (2x);
- il numero di barre per ogni insieme (4+4);
- il diametro della barra in mm ($\varphi 12$),
- la spaziatura fra le barre in cm ($\surd 15$ "),
- le lunghezze parziali e la lunghezza totale (L) in cm.

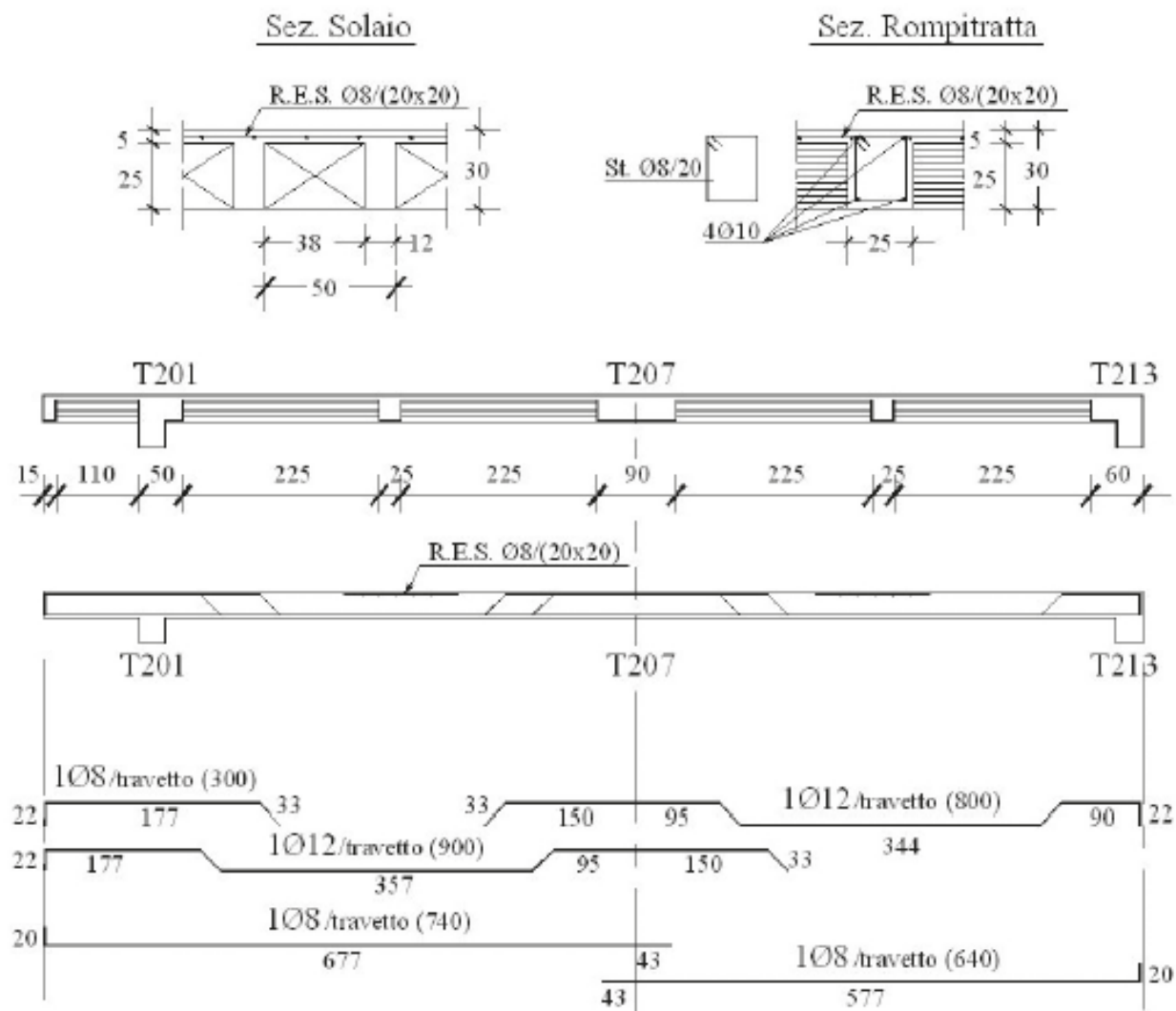
IL DISEGNO DELLE ARMATURE

Altre informazioni possono rendersi necessarie in condizioni particolari.
Fra queste le più ricorrenti sono:

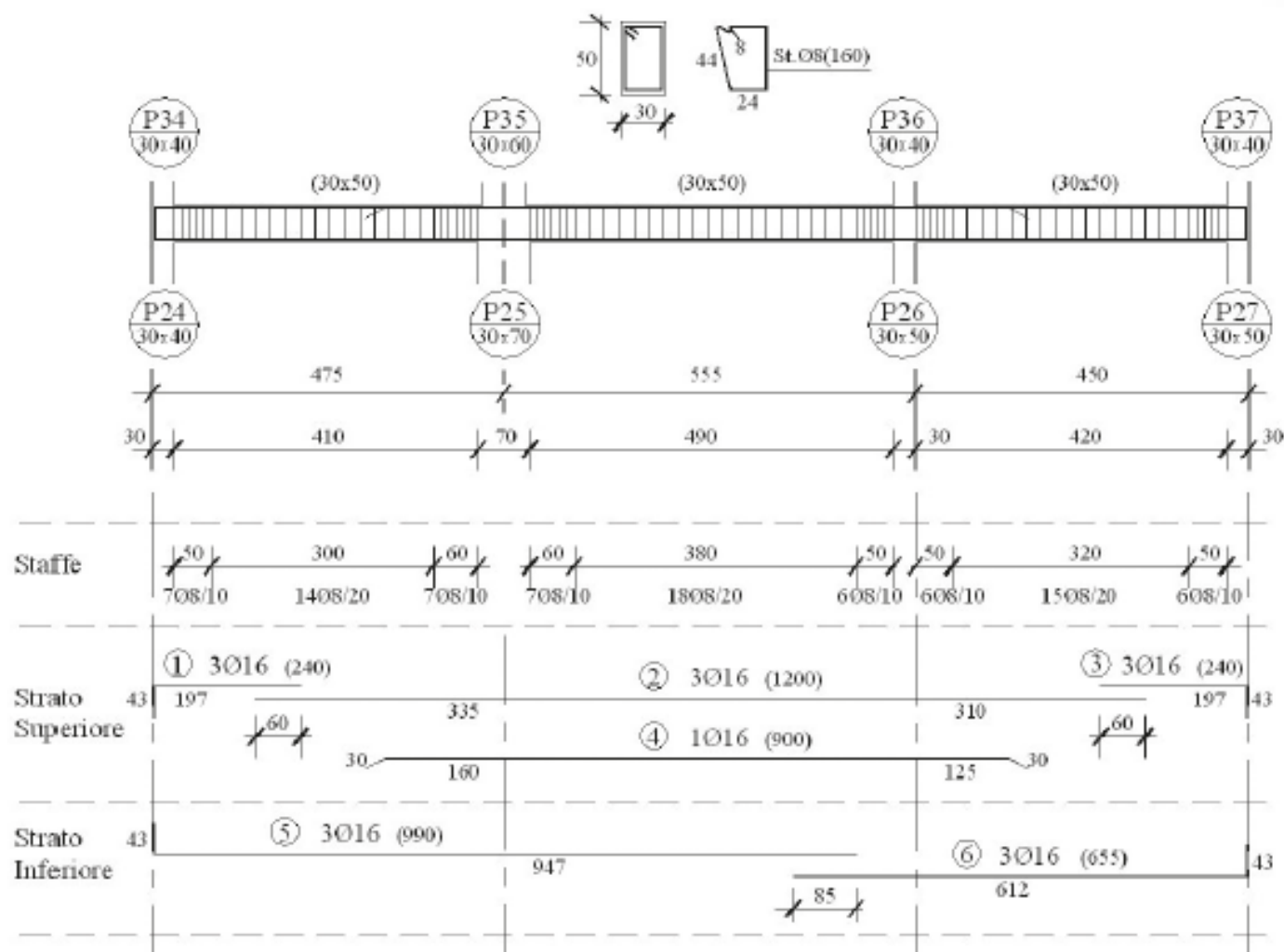
- l'indicazione delle lunghezze di sovrapposizione;
- l'indicazione della posizione della barra rispetto ad un asse di riferimento;
- l'indicazione del diametro del mandrino nelle piegature, se diverso dal diametro minimo prescritto dalle norme;
- l'indicazione dell'angolo di piegatura quando diverso da 90.



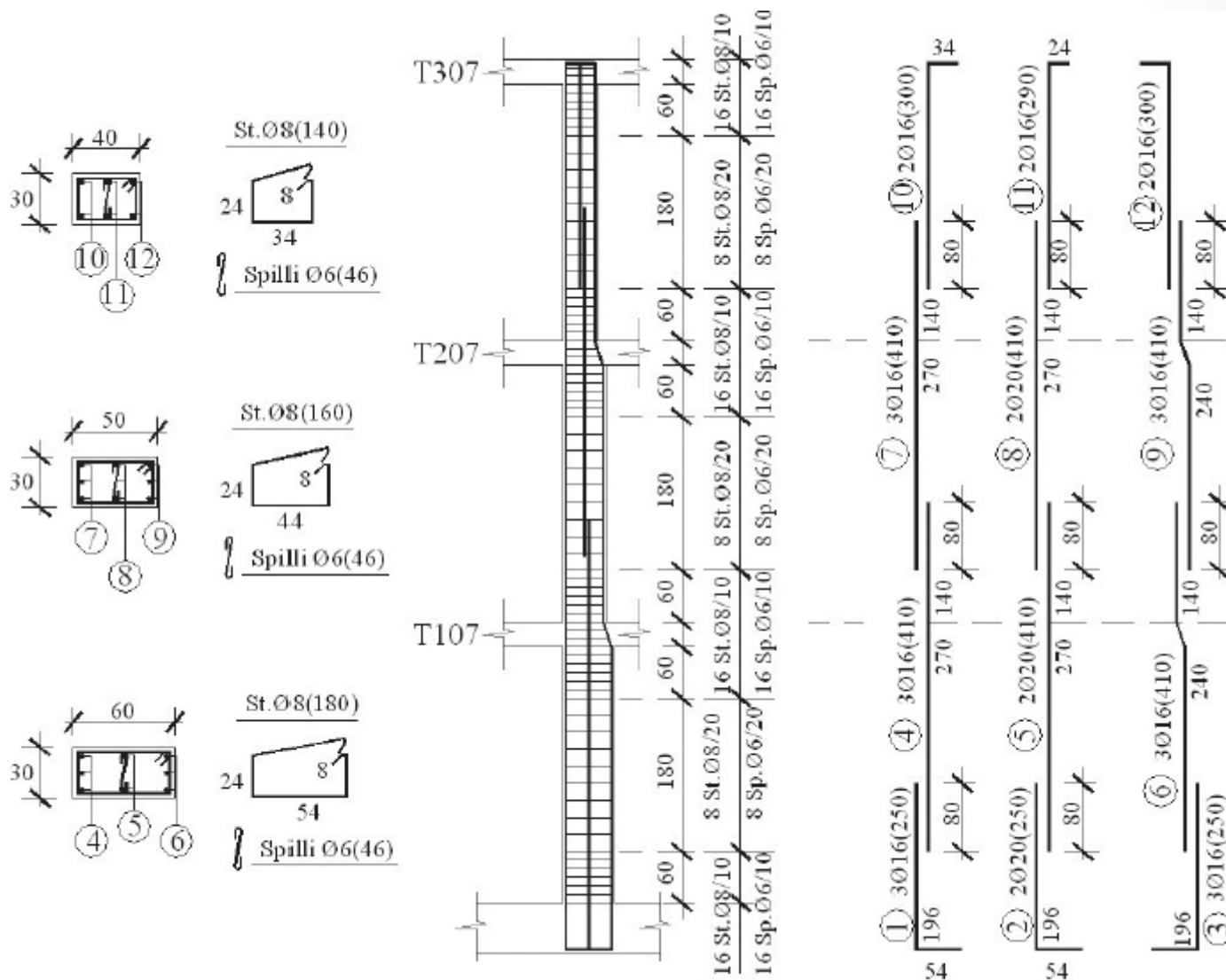
IL DISEGNO DELLE ARMATURE



IL DISEGNO DELLE ARMATURE



IL DISEGNO DELLE ARMATURE



IL DISEGNO DELLE ARMATURE

È opportuno che la scelta delle armature sia circoscritta ad un numero limitato di classi di diametri con differenziazione di almeno 4 mm fra una classe e l'altra, al fine di favorire in cantiere la distinguibilità a vista fra i diversi diametri.

Una serie di diametri correttamente utilizzabile in uno stesso cantiere può, ad esempio, essere quella costituita da tondini di diametro (8, 12, 16, 20, 24) mm.

Considerazioni economiche consiglierebbero, a parità di sezione, di preferire barre di grande diametro che si accompagnano a semplificazioni di sagomatura, montaggio e mano d'opera in genere; per contro i grandi diametri comportano, a parità di altre condizioni, sensibili aumenti nell'ampiezza delle fessure, aspetto questo che va sempre attentamente analizzato caso per caso.

Salvo casi eccezionali, le barre dovranno sempre avere lunghezze non superiori alle lunghezze commerciali (12 m).

Onde evitare sfridi, è opportuno che le lunghezze delle barre siano modulate su sottomultipli delle lunghezze commerciali.

Ridurre il numero delle sagome consente una più rapida produzione in serie, una maggiore facilità di stoccaggio, una conveniente ripetitività della posa in opera.

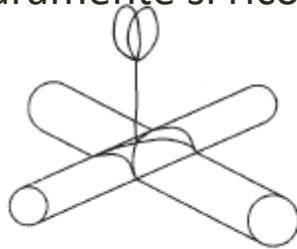
IL DISEGNO DELLE ARMATURE - LEGATURE

Le barre devono essere opportunamente legate tra loro.

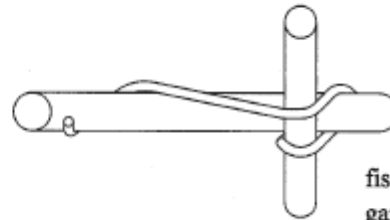
Questo serve per conferire alle gabbie di armatura una adeguata rigidità per una sicura movimentazione in cantiere e per un'opportuna stabilità in fase di getto.

Generalmente le barre sono legate tra loro tramite fil di ferro, oppure con grappe di acciaio.

Solo raramente si ricorre alla saldatura.



fissaggio con
fil di ferro



fissaggio con
ganci d'acciaio



IL DISEGNO DELLE ARMATURE – COPRIFERRO ED INTERFERRO

La corretta distribuzione dell'armatura all'interno della massa di calcestruzzo, deve garantire un adeguato avvolgimento delle barre, fondamentale per consentire una buona aderenza fra calcestruzzo e acciaio.

Una corretta distanza tra le barre è essenziale per favorire regolarità nei getti e nella compattazione.

Raccomandazioni EC2 (Eurocodice 2).

Dati

a_o distanza libera tra singole barre (orizzontale e verticale)

Φ diametro massimo delle barre

d_g dimensione massima degli inerti

Deve essere:

$$a_o \geq \max (\Phi, d_g + 5\text{mm}, 20\text{ mm})$$

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – COPRIFERRO ED INTERFERRO

Le barre disposte in prossimità delle superfici esterne dei getti devono garantire l'aderenza ed essere adeguatamente protette dagli agenti atmosferici e dal fuoco.

Per resistenza al fuoco: EN 1992-1-2

Per aderenza utilizzare barre di diametro $\phi \leq 32$ mm

Per protezione agenti atmosferici le NTC indicano i criteri da adottare per il dimensionamento del copriferro, che va fissato sulla base delle condizioni ambientali definite in funzione delle **classi di esposizione** (vedi pag. seguente).

I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) 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.

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – COPRIFERRO ED INTERFERRO

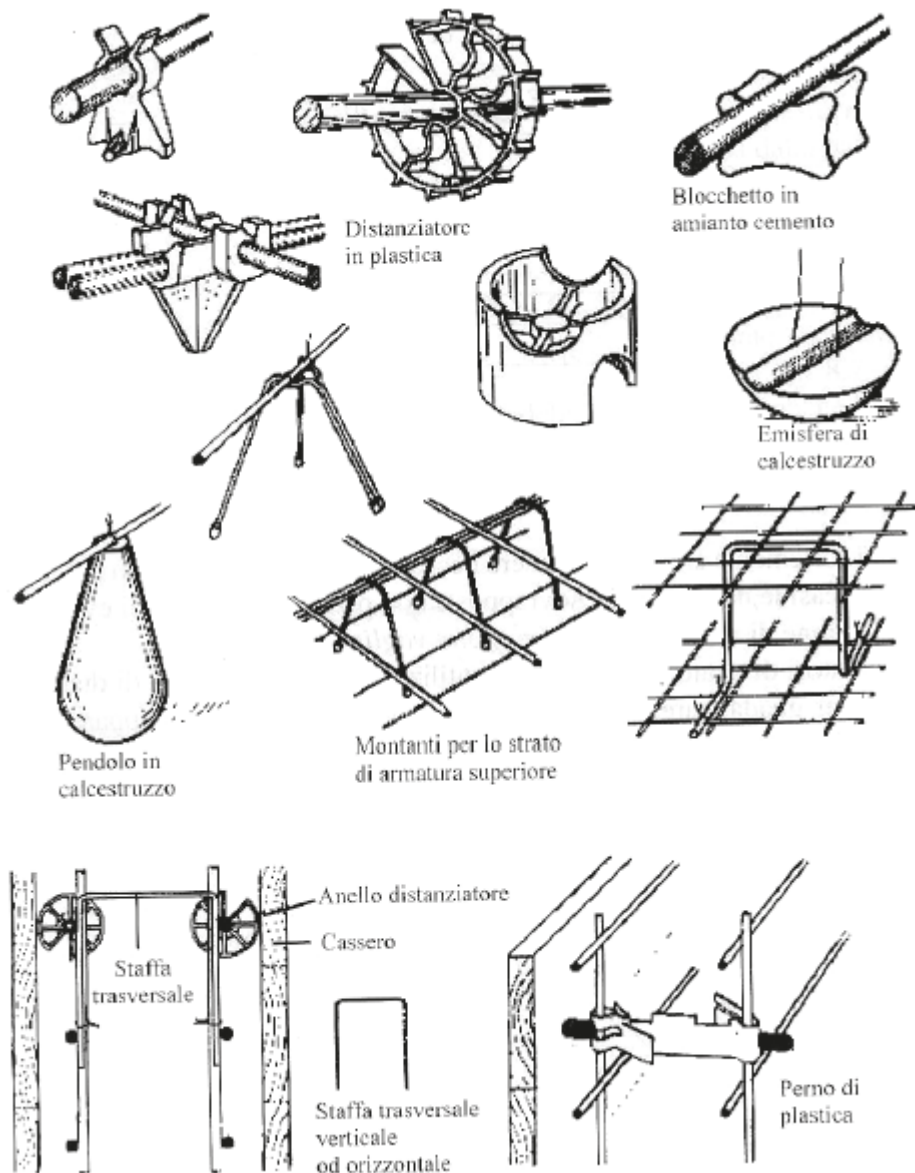
Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella C4.1.IV Copriferrini 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

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – COPRIFERRO ED INTERFERRO

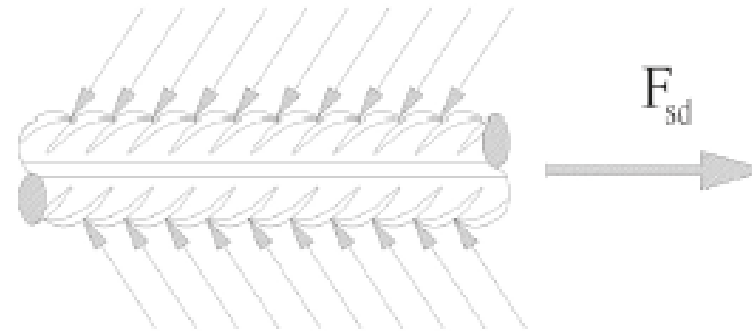


Alcune tipologie di distanziatori

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – ANCORAGGI E GIUNZIONI

Le barre di armatura sono in grado di assorbire le forze di trazione loro affidate dal calcolo, solo se sono opportunamente vincolate alle loro estremità.

Il modo più semplice di vincolare una barra è quello di prolungarla oltre la sua ultima sezione di servizio per un tratto tale (**lunghezza di ancoraggio**), da garantire il trasferimento del suo sforzo al calcestruzzo in virtù delle tensioni di aderenza che si sviluppano lungo la sua superficie laterale.



IL DISEGNO DELLE ARMATURE – ANCORAGGI E GIUNZIONI

I codici normativi consentono di calcolare in maniera convenzionale la **lunghezza di ancoraggio**, considerando lungo il tratto di ancoraggio una tensione tangenziale uniforme di aderenza di calcolo.

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

Dove:

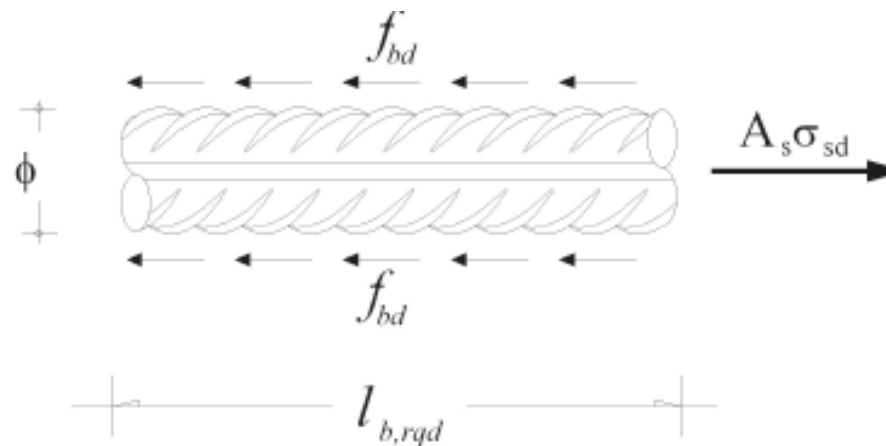
$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{bk} = 2,25 f_{ctk}$$

coefficiente parziale di sicurezza del cls

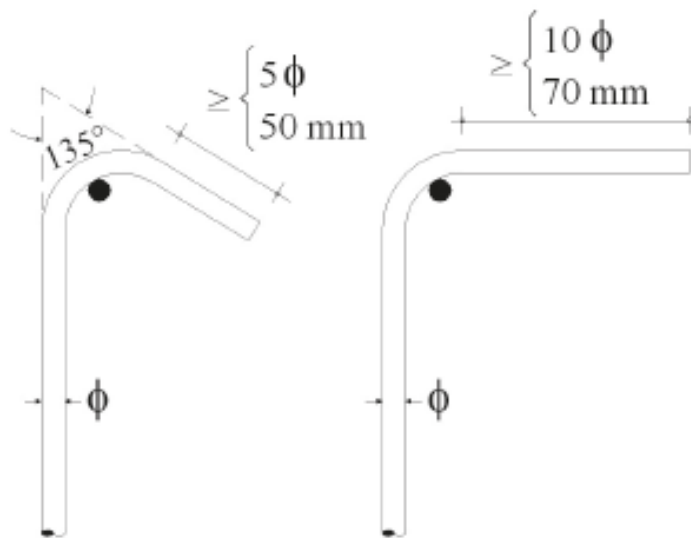
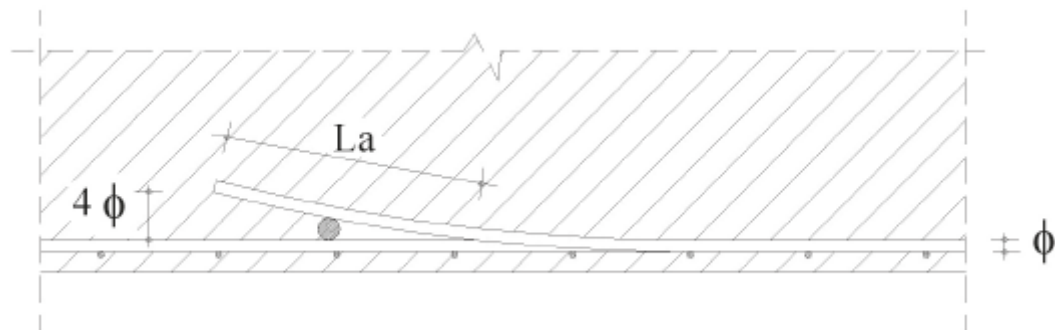
resistenza caratteristica di aderenza (barre di diametro $\phi \leq 32$ mm)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$



IL DISEGNO DELLE ARMATURE – ANCORAGGI E GIUNZIONI

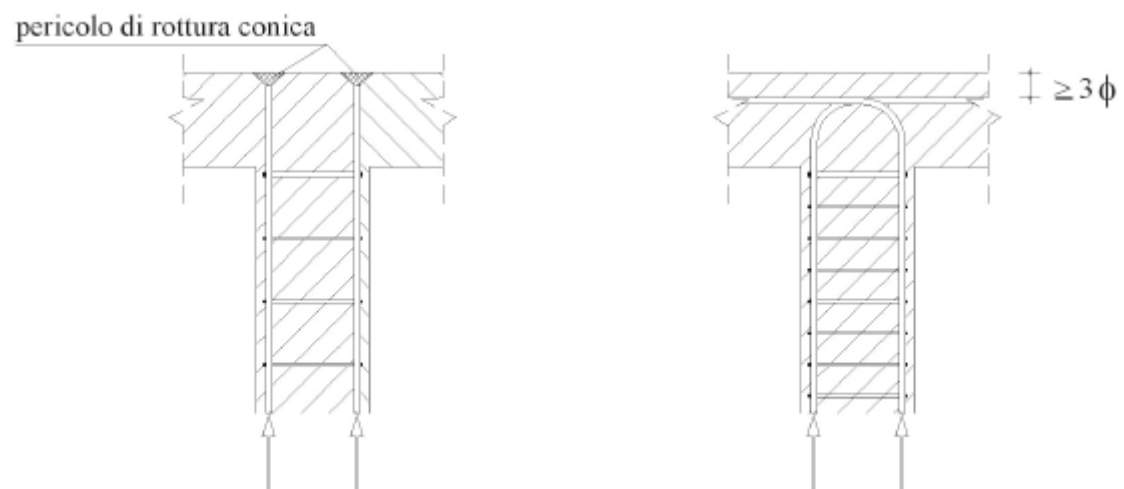
Sollevamento di una barra nel caso di forti tensioni di aderenza



Forme di ancoraggio delle staffe

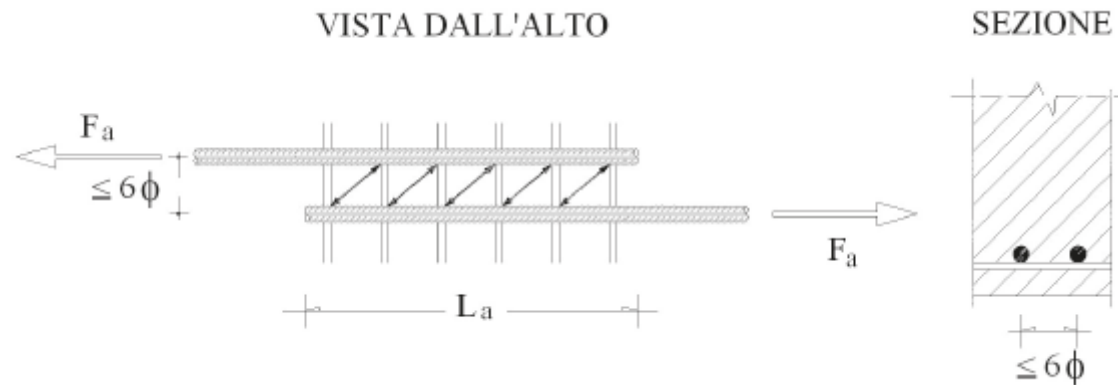
IL DISEGNO DELLE ARMATURE – ANCORAGGI E GIUNZIONI

Ancoraggi di barre compresse



IL DISEGNO DELLE ARMATURE – ANCORAGGI E GIUNZIONI

La lunghezza limitata delle barre per c.a. (comunemente 12 metri), insieme alle problematiche connesse al loro trasporto e montaggio, impongono la realizzazione in opera di **giunzioni** che **devono garantire la trasmissione degli sforzi da una barra all'altra**.



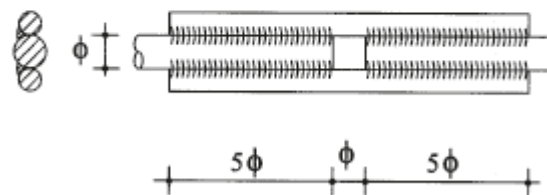
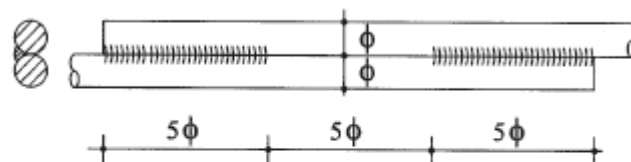
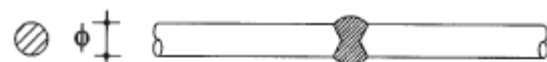
Schema di trasmissione degli sforzi in una giunzione per sovrapposizione.

Tali giunzioni possono essere realizzate:

- a) per sovrapposizione (*giunzioni indirette*);
- b) per continuità meccanica delle barre (*giunzioni dirette*).

Generalmente le giunzioni sono di tipo «dritte»

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – ANCORAGGI E GIUNZIONI



GIUNZIONI PER SALDATURA



manicotto a filrtatura cilindrica

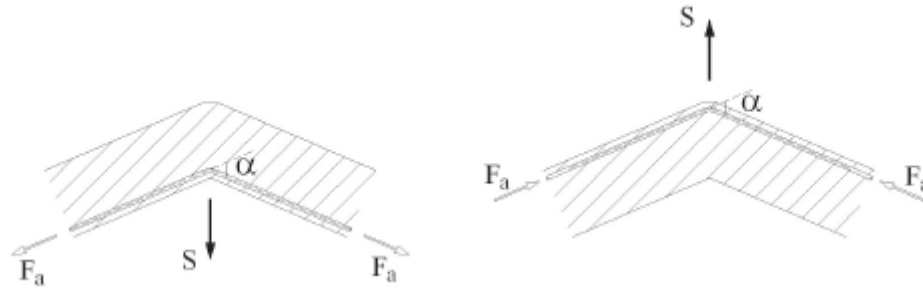


manicotto a filrtatura conica

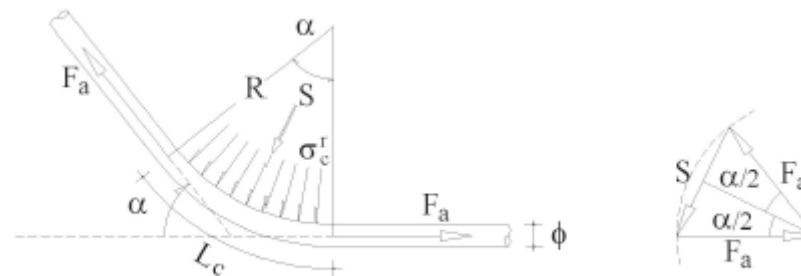
GIUNZIONI A MANICOTTI FILETTATI

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – PIEGATURA DELLE BARRE

Una barra che presenta cambiamenti di direzione, esercita spinte sul calcestruzzo che la avvolge, che possono rompere o sollevare lo strato superficiale di conglomerato.

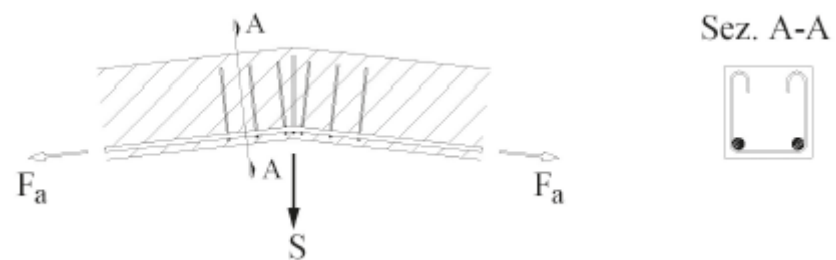


Spinte sul cls per effetto dei cambi di direzione delle barre

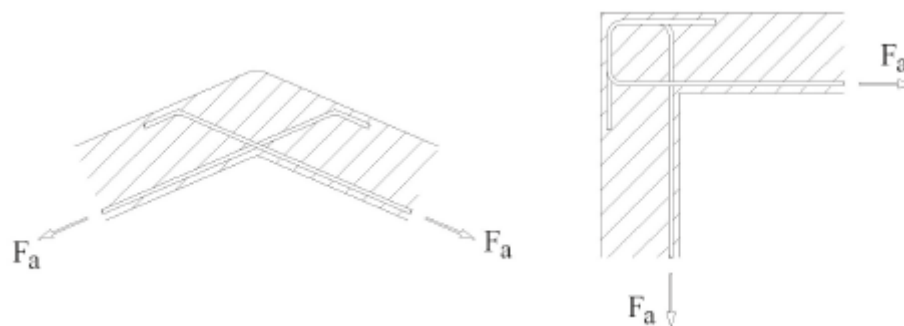


Le pressioni radiali lungo la piegatura di una barra

IL DISEGNO DELLE ARMATURE – PIEGATURA DELLE BARRE



Schemi di armatura con piccoli angoli di deviazione ($<15^\circ$).



Schemi di armatura con grandi angoli di deviazione.

ARMATURA DELLE TRAVI

In un elemento inflesso, la presenza di armatura longitudinale è indispensabile poiché essa dovrà farsi carico delle tensioni prodotte ai lembi tesi dall'azione flettente.

Nelle travi continue, le zone soggette a trazione variano spostandosi lungo la trave ed interessano alternativamente le fibre superiori ed inferiori; ne viene naturale la possibilità di deviare l'armatura longitudinale lungo l'asse della trave, piegando le barre via via superflue nel rispetto del diagramma dei momenti resistenti. Non sempre, però, il risparmio in acciaio ottenibile con questo tipo di disposizione compensa il maggior onere riveniente dalla piegatura e dalla loro messa in opera; inoltre, in considerazione della necessità di disporre in corrispondenza degli appoggi di estremità un'armatura inferiore in grado di assorbire uno sforzo di trazione pari al taglio, non rialzare le barre inferiori generalmente assicura ridotte tensioni in prossimità dei supporti esterni consentendo di accorciare le lunghezze di ancoraggio ivi necessarie.

Quando la trave è particolarmente alta è buona norma disporre lungo le pareti un'armatura ausiliaria costituita da barre longitudinali, eventualmente di piccolo diametro, disposte ad interasse di $20 \div 30$ cm, ovvero proteggere le pareti con rete elettrosaldata.

ARMATURA DELLE TRAVI

4.1.6.1.1 *Armatura delle travi*

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,\min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ e comunque non minore di } 0,0013 \cdot b_t \cdot d, \quad (4.1.43)$$

dove:

b_t rappresenta la larghezza media della zona tesa; per una trave a T con piattabanda compressa, nel calcolare il valore di b_t si considera solo la larghezza dell'anima;

d è l'altezza utile della sezione;

f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione assiale definita nel § 11.2.10.2;

f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio.

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

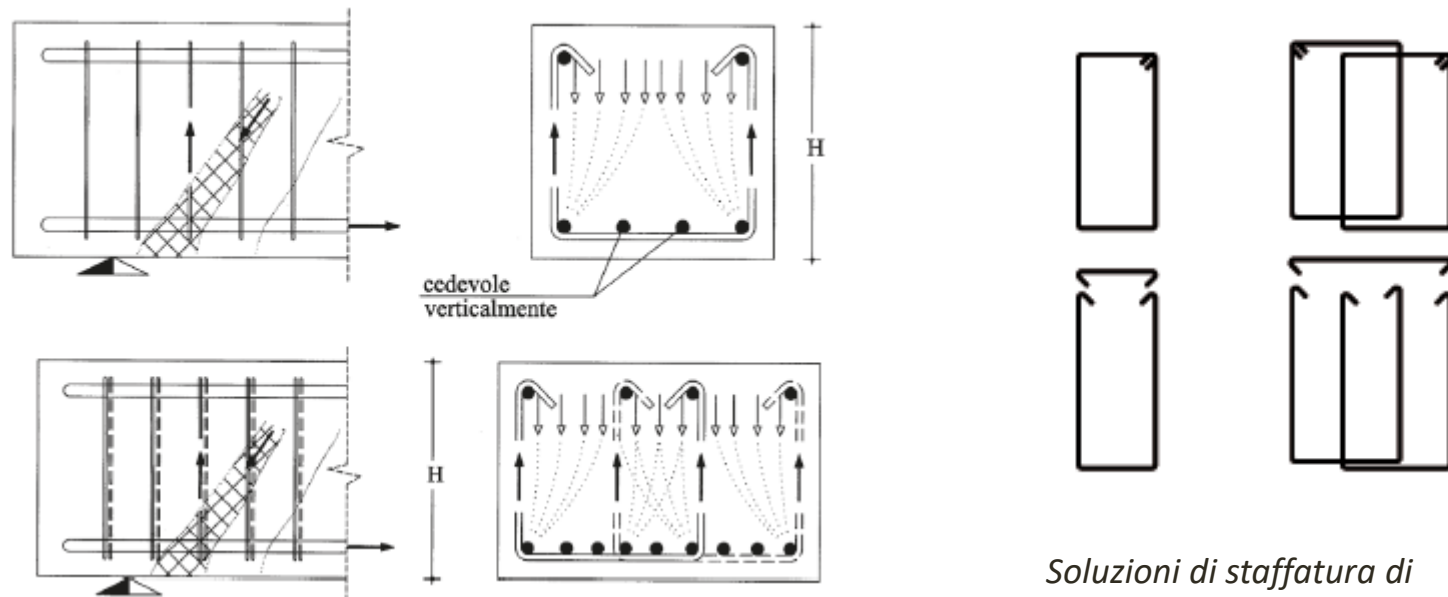
Le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ essendo b lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione.

In ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

ARMATURA DELLE TRAVI

È opportuno che le staffe non siano molto larghe (max $40 \div 50$ cm), poiché i puntoni diagonali di calcestruzzo tendono ad impostarsi sulle barre vincolate più rigidamente, cioè su quelle poste agli angoli delle staffe.

Nel caso di travi molto larghe, è indispensabile l'utilizzo di staffe a 4 bracci che migliorano il vincolo dei suddetti puntoni, consentendone un appoggio adeguatamente distribuito.

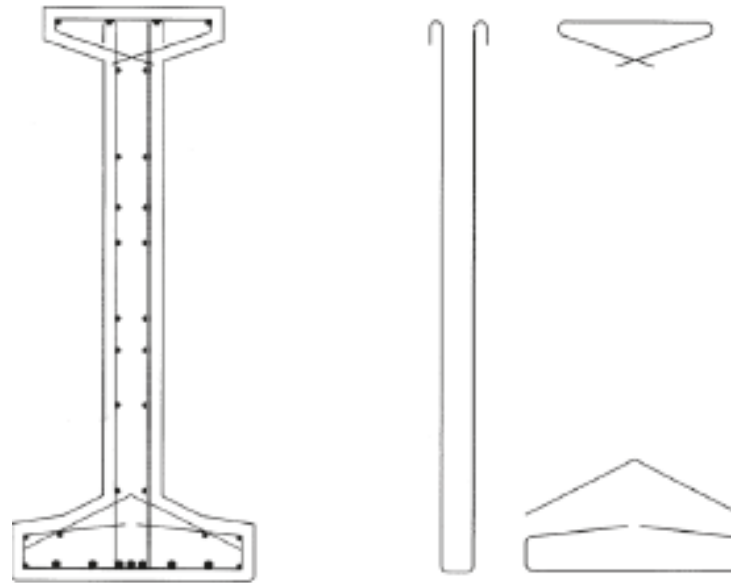


Soluzioni di staffatura di travi a sezione rettangolare

Funzionamento delle diagonali compresse del traliccio ideale nel caso di staffe a 2 e 4 bracci

ARMATURA DELLE TRAVI

Nel caso di sezione a « T » la staffatura risulta, più articolata e ciò spesso comporta maggiore difficoltà nel posizionamento dell'armatura longitudinale.



*Possibile staffatura per travi
con sezione a T*

ARMATURA DEI PILASTRI

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

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

dove:

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.

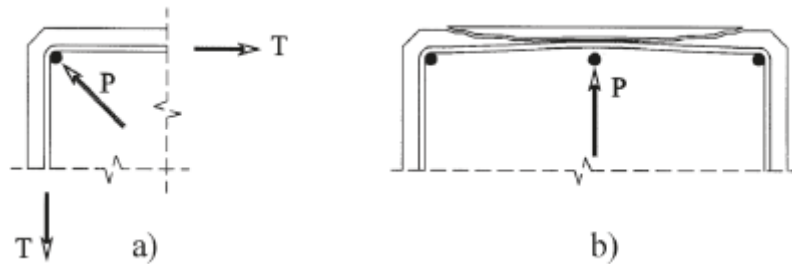
Le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l'armatura longitudinale, con un massimo di 250 mm. Il diametro delle staffe non deve essere minore di 6 mm e di $\frac{1}{4}$ del diametro massimo delle barre longitudinali.

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.

ARMATURA DEI PILASTRI

In considerazione delle funzioni loro affidate, le staffe dei pilastri devono obbligatoriamente essere chiuse ed essere in grado di contrastare efficacemente gli spostamenti delle barre longitudinali verso l'esterno lavorando «a trazione», impedendo che le barre longitudinali, possano instabilizzarsi.

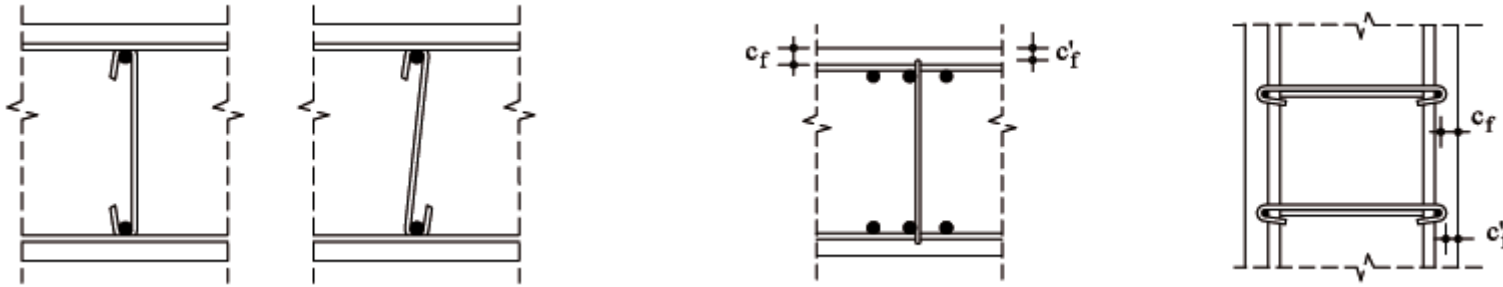
Le staffe svolgono anche un'importante funzione di «confinamento» del calcestruzzo all'interno del perimetro delle staffe, aumentandone in questo modo la resistenza compressione.



Schemi di funzionamento delle staffe.

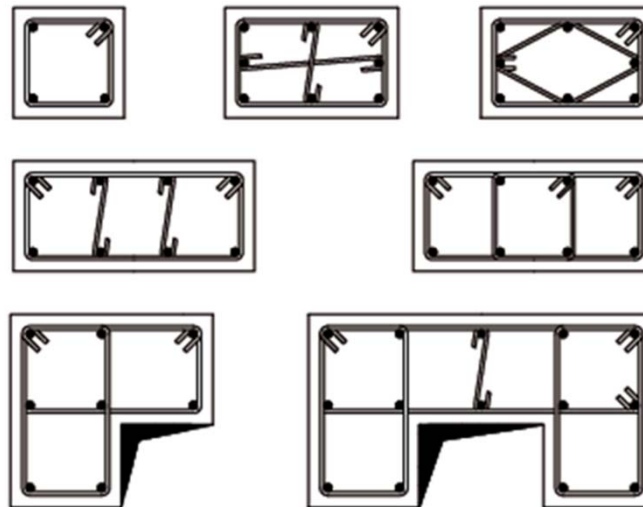
ARMATURA DEI PILASTRI

Per legare i ferri intermedi al braccio di staffa, si ricorre spesso all'utilizzo di spilli.



Spilli di tenuta delle barre longitudinali.

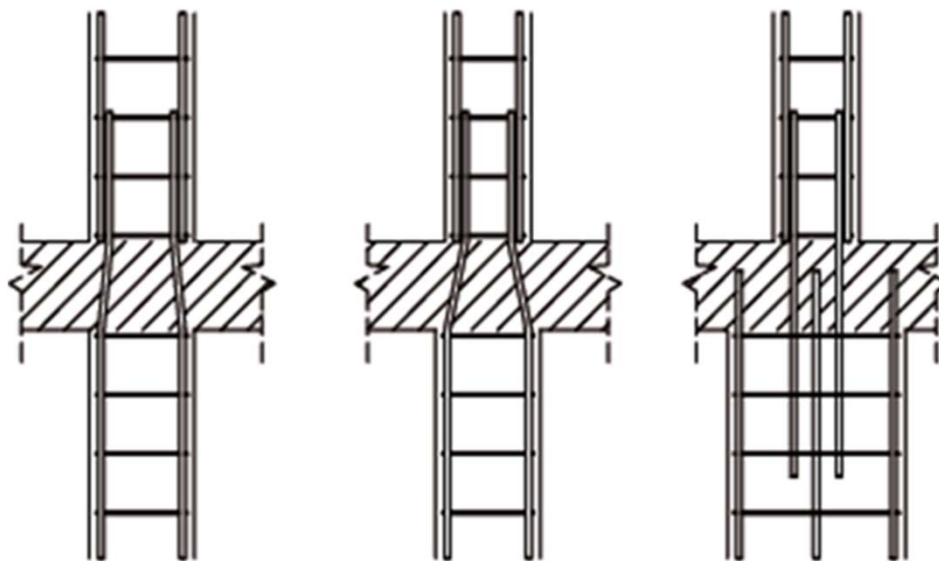
Spilli di tenuta vincolati alle staffe.



Schemi più comuni di staffatura dei pilastri

ARMATURA DEI PILASTRI

Negli edifici multipiano è necessario riprendere le barre ad ogni tesa e ciò si realizza generalmente con giunzioni per sovrapposizione.



Giunzioni di ripresa delle barre longitudinali dei pilastri.

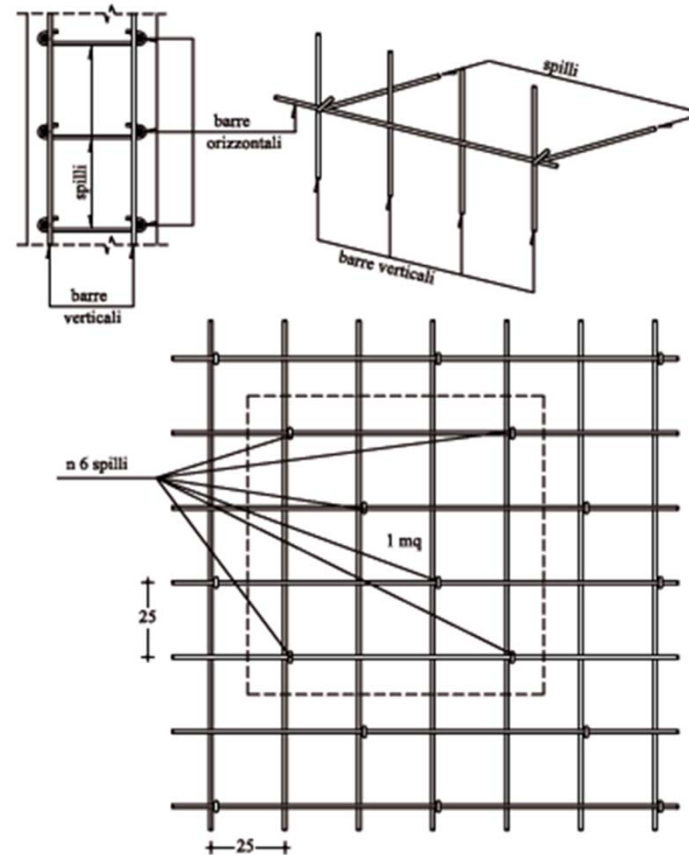
ARMATURA DELLE PARETI

Quando il rapporto tra dimensione maggiore e minore della sezione di un elemento verticale, supera il valore 4, l'elemento strutturale prende il nome di «**parete**».

EC2 raccomanda per l'area delle armature verticali che:

- $0,2 A_c \leq A_s \leq 0,4 A_c$
- sia distribuita in modo tale che la distanza fra due barre adiacenti risulti maggiore di 3 volte lo spessore della parete e comunque ≤ 400 mm

L'armatura verticale va integrata con barre orizzontali di area complessiva almeno pari al maggiore fra il 25% dell'armatura verticale e lo $0,1 \% A_c$. Anche per le barre orizzontali è raccomandato un passo non maggiore di 400 mm. Se l'armatura verticale è maggiore del $2\% A_c$ occorre disporre armature trasversali in forma di tiranti in conformità ai requisiti relativi ai pilastri.



Esempio di armatura di una parete in c.a.