

ESERCITAZIONE N. 7

Progettazione dei nodi e dei setti

Corso di Costruzioni in Zona Sismica
A/A 2019-2020

Università degli Studi Roma Tre - Facoltà di Ingegneria

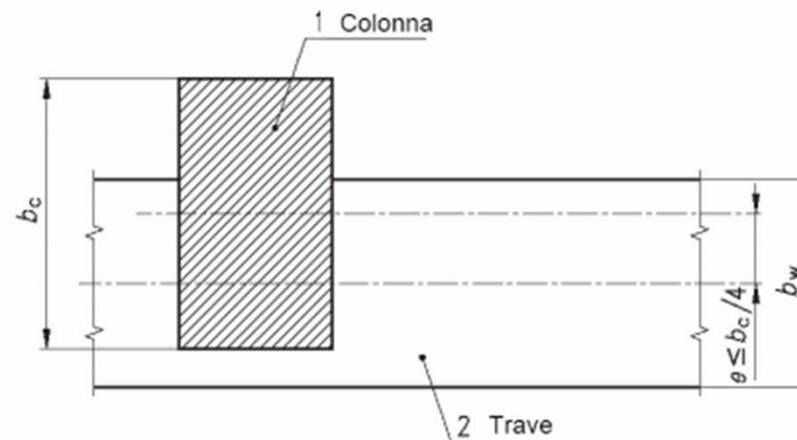
Ing. Daniele Corritore PhD

Nodo trave - pilastro

Si definisce nodo la zona del pilastro che si incrocia con le travi ad esse concorrenti.

- ▶ La resistenza del nodo deve essere tale da assicurare che non pervenga alla rottura prima delle zone della trave e del pilastro ad esso adiacenti.
- ▶ Sono da evitare, per quanto possibile, eccentricità tra l'asse della trave e l'asse del pilastro concorrenti in un nodo.

Eccentricità tra l'asse della trave e quello della colonna



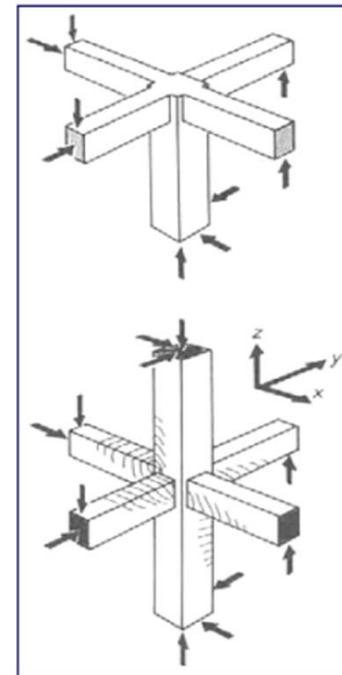
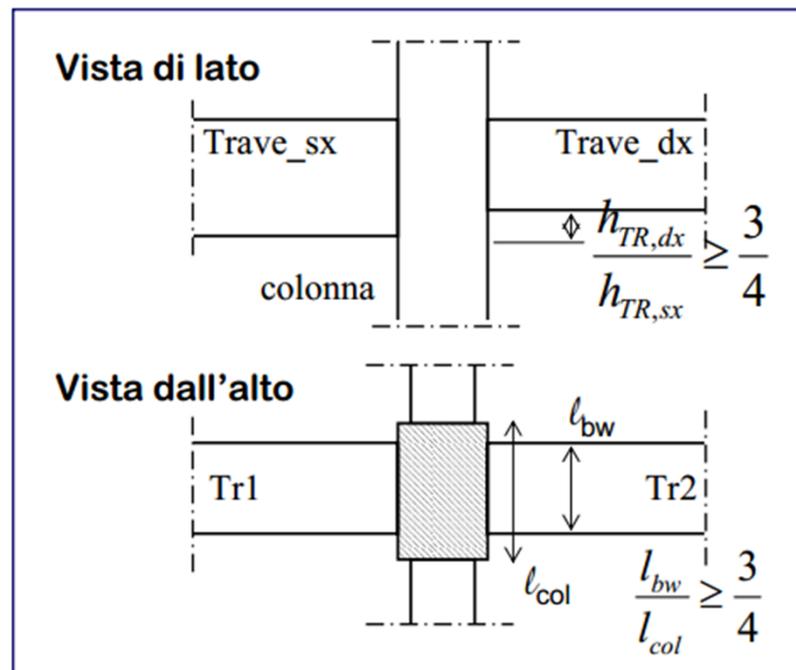
Eccentricità max. trave rispetto al pilastro (EC-8): $e \leq b_c/4$

Dove b_c è la larghezza del pilastro in direzione normale all'asse della trave (necessario per assicurare un trasferimento efficace delle azioni cicliche nel nodo trave-pilastro).

Nodo trave - pilastro

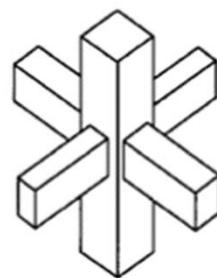
Si distinguono due tipi di nodo:

- ▶ **Nodi interamente confinati**, così definiti quando in ognuna delle quattro facce verticali si innesta una trave. Il confinamento si considera realizzato quando, su ogni faccia del nodo, la sezione della trave copre per almeno $\frac{3}{4}$ la larghezza del pilastro e, su entrambe le coppie di facce opposte del nodo, le sezioni delle travi si ricoprono per almeno $\frac{3}{4}$ dell'altezza;
- ▶ **Nodi non interamente confinati**: tutti i nodi non appartenenti alla categoria precedente.

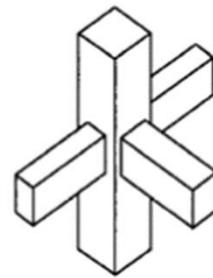


Nodo trave - pilastro

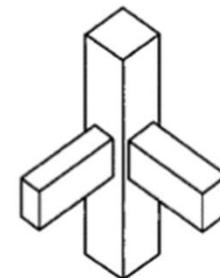
- ▶ **Nodi interamente confinati**, così definiti quando in ognuna delle quattro facce verticali si innesta una trave. Il confinamento si considera realizzato quando, su ogni faccia del nodo, la sezione della trave copre per almeno $\frac{3}{4}$ la larghezza del pilastro e, su entrambe le coppie di facce opposte del nodo, le sezioni delle travi si ricoprono per almeno $\frac{3}{4}$ dell'altezza;
- ▶ **Nodi non interamente confinati**: tutti i nodi non appartenenti alla categoria precedente.



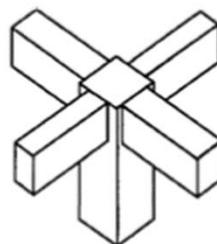
a) Interior
INTERAMENTE CONFINATO



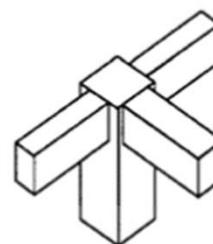
b) Exterior
NON INTERAMENTE CONFINATO



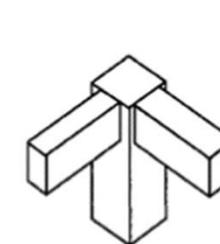
c) Corner
NON INTERAMENTE CONFINATO



INTERAMENTE CONFINATO
d) "Roof"-interior



NON INTERAMENTE CONFINATO
e) "Roof"-exterior

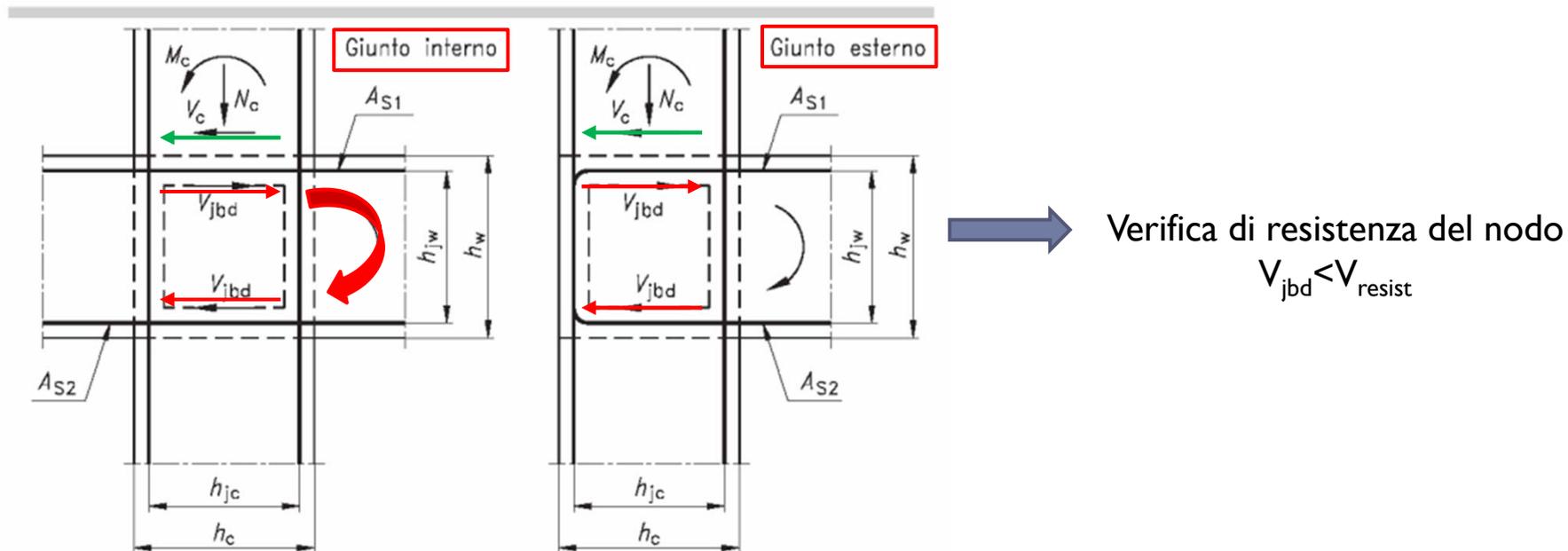


NON INTERAMENTE CONFINATO
f) "Roof"-corner

Nodo trave - pilastro

Le azioni nei nodi devono essere calcolate secondo la regola del 'Capacity Design', utilizzando i valori delle **resistenze delle travi** ed il **valore minimo del taglio nei pilastri**. In ogni nodo la **capacità a taglio** deve essere superiore o uguale alla corrispondente domanda.

Forze di taglio orizzontali agenti sui nodi trave-colonna



Il taglio V_{jbd} agente in direzione orizzontale in un nodo deve essere calcolato tenendo conto delle sollecitazioni più gravose che, per effetto dell'azione sismica, si possono verificare negli elementi che vi confluiscono.

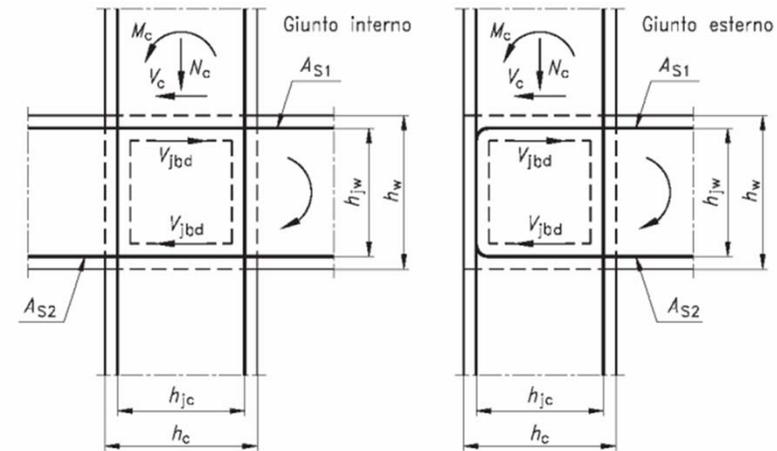
Nodo trave - pilastro

In assenza di più accurate valutazioni, la forza di taglio agente nel nucleo di calcestruzzo del nodo può essere calcolata, per **ciascuna direzione dell'azione sismica**, come:

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} (A_{s1} + A_{s2}) f_{yd} - V_C \quad \text{per nodi interni}$$

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} * A_{s1} * f_{yd} - V_C \quad \text{per nodi esterni}$$

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
			CD "A"	CD "B"
C.a. gettata in opera	Travi (§ 7.4.4.1.1)	Taglio	1,20	1,10
	Pilastrì (§ 7.4.4.2.1)	Pressoflessione [7.4.4]	1,30	1,30
		Taglio [7.4.5]	1,30	1,10
	Nodi trave-pilastro (§ 7.4.4.3.1)	Taglio [7.4.6-7, 7.4.11-12]	1,20	1,10
	Pareti (§ 7.4.4.5.1)	Taglio [7.4.13-14]	1,20	-



A_{s1} ed A_{s2} sono rispettivamente l'area dell'armatura superiore ed inferiore della trave;
 V_c è la forza di taglio nel pilastro al di sopra del nodo, derivante dall'analisi in condizioni sismiche.

Le forze di taglio che agiscono sui nodi devono corrispondere alla più avversa direzione di provenienza dell'azione sismica, la quale si riflette sulla scelta del valore di V_c .

Nodo trave - pilastro

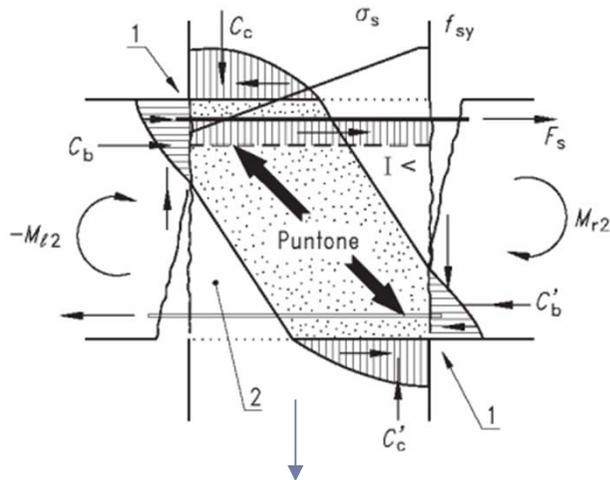
Verifica di resistenza del nodo

La capacità a taglio del nodo è fornita da un meccanismo a traliccio che, a seguito della fessurazione diagonale, vede operare **contemporaneamente un meccanismo di taglio compressione ed un meccanismo di taglio trazione**. Si devono pertanto soddisfare requisiti atti a garantire l'efficacia dei due meccanismi.

Meccanismo a puntone diagonale

Legenda

- 1 Fessura chiusa
- 2 Tirante

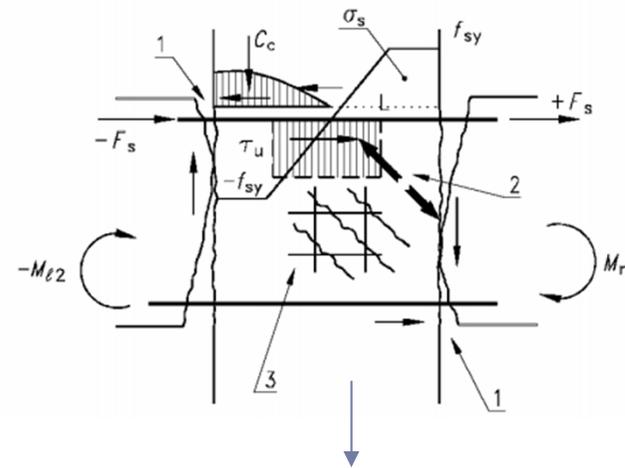


Verifica del puntone di cls

Meccanismo di confinamento

Legenda

- 1 Fessura aperta
- 2 Puntone meno efficace
- 3 Fessure diagonali



Verifica dell'armatura

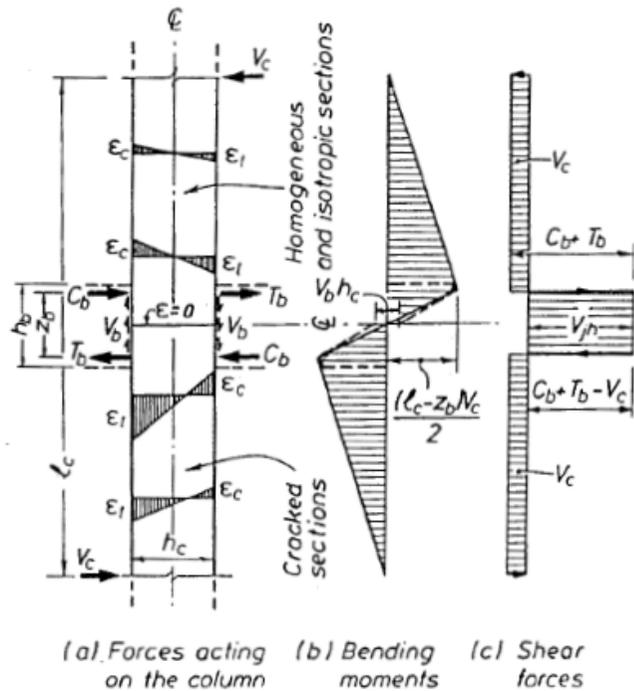
Nodo trave - pilastro

► Meccanismo a puntone diagonale

Si ha la creazione di fessure che si chiudono dopo la fase di carico. Le azioni di compressione della trave e del pilastro si trasmettono grazie al puntone di calcestruzzo.

Le forze assiali di compressione delle travi vengono trasferite sulla zona di calcestruzzo compressa e si combinano con le forze verticali nelle zone compresse delle colonne.

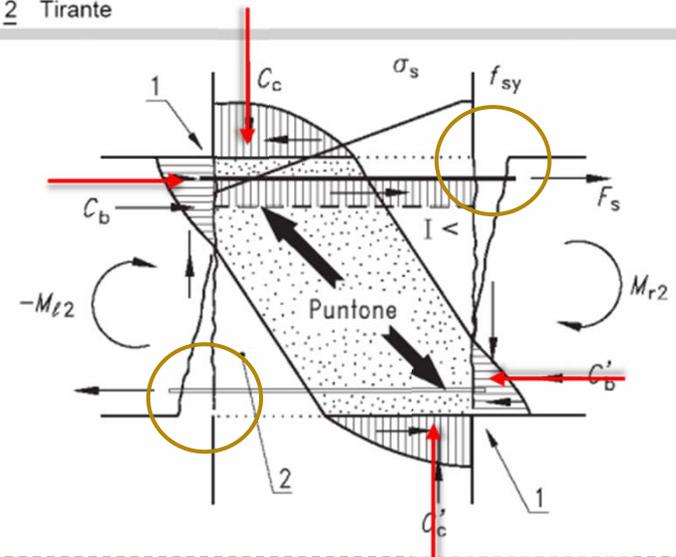
Si ha la formazione di un puntone diagonale compresso, in equilibrio all'interno del nodo.



Meccanismo a puntone diagonale

Legenda

- 1 Fessura chiusa
- 2 Tirante



Nodo trave - pilastro

Meccanismo a puntone diagonale

La compressione diagonale indotta dal meccanismo a traliccio non deve eccedere la resistenza a compressione del calcestruzzo.

In assenza di modelli più accurati, il requisito può ritenersi soddisfatto se:

$$V_{jbd} \leq \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}}$$

$$\eta = \alpha_j \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad \text{con } f_{ck} \text{ espresso in MPa}$$

b_j = larghezza efficace del nodo pari a:

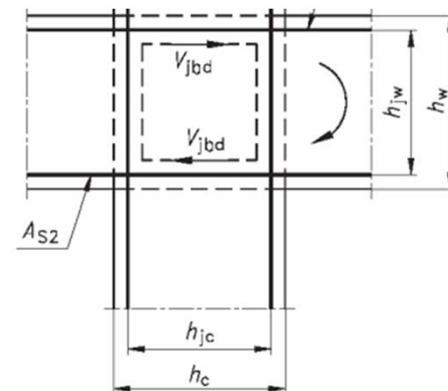
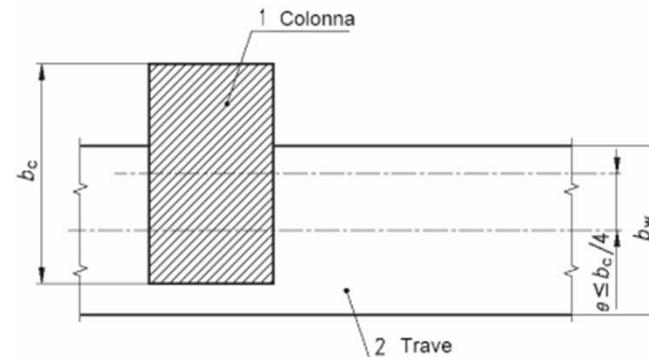
a) se $b_c > b_w$: $b_j = \min\{b_c; (b_w + 0,5h_c)\}$

b) se $b_c < b_w$: $b_j = \min\{b_w; (b_c + 0,5h_c)\}$

α_j è un coefficiente che vale 0,6 per nodi interni e 0,48 per nodi esterni,

v_d è la forza assiale nel pilastro al di sopra del nodo normalizzata rispetto alla resistenza a compressione della sezione di solo calcestruzzo;

h_{ic} è la distanza tra le giaciture più esterne di armature del pilastro;



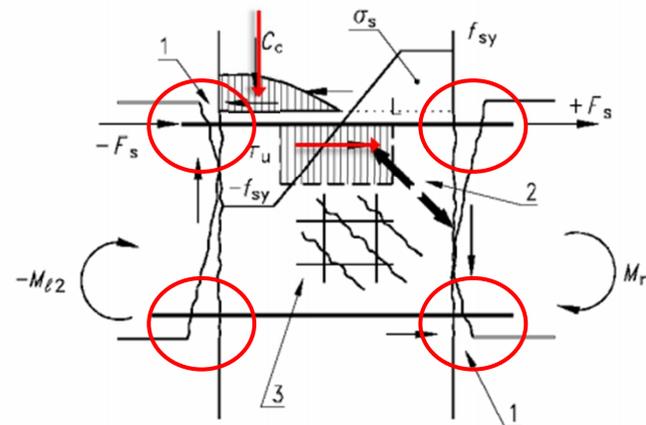
Nodo trave - pilastro

► Meccanismo di confinamento

Il meccanismo di confinamento si verifica quando in corrispondenza delle sezioni trasversali delle travi si sviluppano fessure flessionali di notevole ampiezza (corrispondenti ad un apprezzabile allungamento permanente delle barre di armatura dovuto ad una precedente inversione del momento di grande intensità) che non possono chiudersi in fase successiva.

Legenda

- 1 Fessura aperta
- 2 Puntone meno efficace
- 3 Fessure diagonali



Le forze orizzontali di compressione dovute ai momenti flettenti sono assorbite principalmente dalle armature e non si sviluppa alcun meccanismo di puntone inclinato. In aggiunta a questo, lo schiacciamento plastico delle barre su entrambi i lati produce elevate tensioni di aderenza concentrate nella zona mediana.

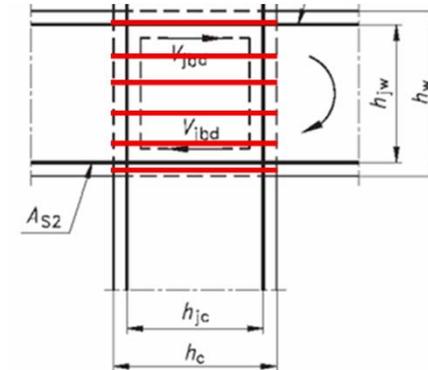
Nodo trave - pilastro

▶ Meccanismo di confinamento

Per evitare che la massima trazione diagonale del calstruzzo ecceda la f_{ctd} e si abbia fessurazione diagonale deve essere previsto un adeguato confinamento.

In assenza di modelli più accurati, si possono disporre nel **nodo staffe orizzontali** di diametro non inferiore a 6 mm, in modo che:

$$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \geq \frac{[V_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd}$$



h_{jc} è la distanza tra le giaciture più esterne di armature del pilastro;

h_{jw} è la distanza tra le giaciture di armature superiori e inferiori della trave;

A_{sh} è l'area totale della sezione delle staffe;

b_j è la larghezza effettiva del nodo.

Le staffe nel nodo devono essere **disposte uniformemente all'interno dell'altezza h_{jw}** tra le armature inferiori e superiori della trave

Nodo trave - pilastro

Meccanismo di confinamento

In alternativa, l'integrità del nodo a seguito della fessurazione diagonale può essere garantita integralmente dalle **staffe orizzontali** se:

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot (A_{S1} + A_{S2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \quad \text{per nodi interni}$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{S2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \quad \text{per nodi esterni}$$

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Ra}	
			CD "A"	CD "B"
C.a. gettata in opera	Travi (§ 7.4.4.1.1)	Taglio	1,20	1,10
	Pilastri (§ 7.4.4.2.1)	Pressoflessione [7.4.4]	1,30	1,30
		Taglio [7.4.5]	1,30	1,10
	Nodi trave-pilastro (§ 7.4.4.3.1)	Taglio [7.4.6-7, 7.4.11-12]	1,20	1,10
	Pareti (§ 7.4.4.5.1)	Taglio [7.4.13-14]	1,20	-

A_{s1} ed A_{s2} rispettivamente l'area dell'armatura superiore e inferiore della trave;

v_d è la forza assiale normalizzata agente al di sopra del nodo, per i nodi interni, al di sotto del nodo, per i nodo esterni.

Le staffe nel nodo devono essere disposte uniformemente all'interno dell'altezza h_{jw} tra le armature inferiori e superiori della trave

Nodo trave - pilastro

Limitazioni di armatura

1

EC 8 - Deve essere presente una quantità di armatura verticale passante nel nodo, tale che:

$$A_{sv,i} \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw})$$

dove $A_{sv,i}$ è l'area delle barre poste lungo i lati delle facce rilevanti del nodo (tutte, escluse le barre d'angolo)

2

L'armatura di confinamento orizzontale nei nodi non interamente confinati deve essere almeno pari all'armatura orizzontale nella zona critica del pilastro adiacente il nodo

3

Per i nodi non confinati, appartenenti a strutture sia in CD"A" che in CD"B", le staffe orizzontali presenti lungo l'altezza del nodo devono verificare la seguente condizione:

$$\frac{n_{st} \cdot A_{st}}{i \cdot b_j} \geq 0,05 \cdot \frac{f_{ck}}{f_{yk}}$$

n_{st} è il numero di bracci della sezione trasversale della barra della singola staffa;

A_{st} è l'area della sezione trasversale della barra della singola staffa orizzontale;

i è l'interasse delle staffe orizzontali;

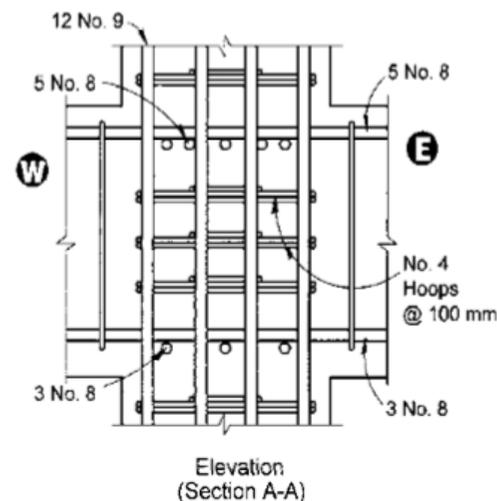
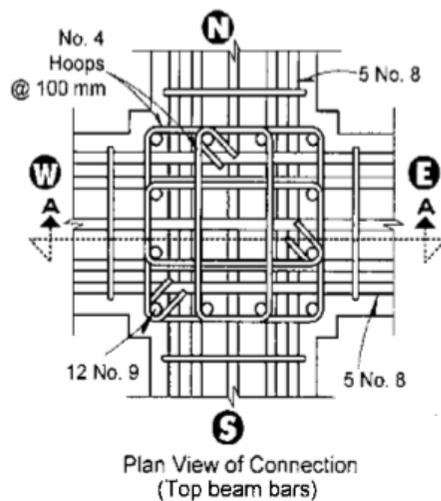
b_j è la larghezza utile del nodo,

Nodo trave - pilastro

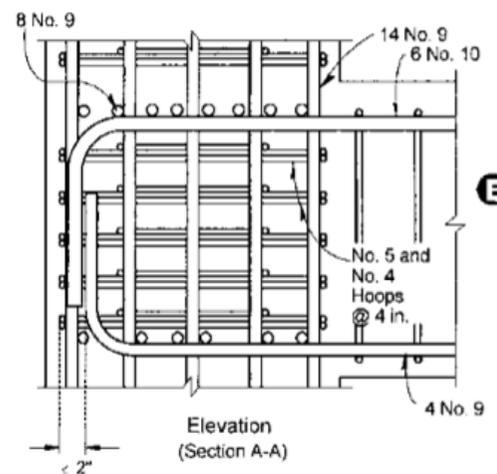
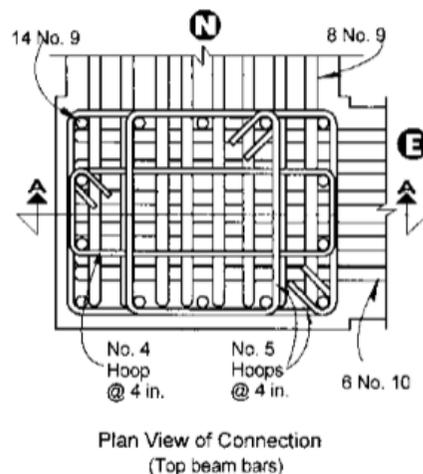


Nodo trave - pilastro

Nodo interno



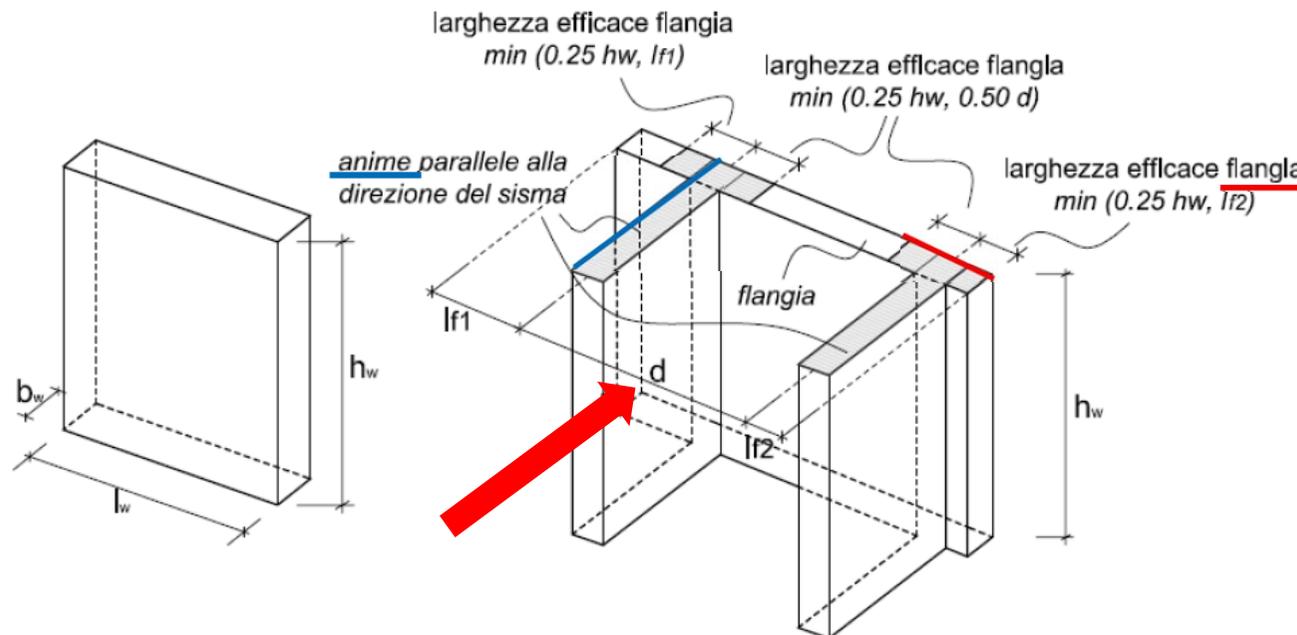
Nodo di bordo



Gerarchia delle resistenze - Pareti

DEFINIZIONE

Una parete è un elemento strutturale di supporto per altri elementi che ha una sezione trasversale rettangolare caratterizzata da un **rapporto tra dimensione massima l_w e minima in pianta b_w superiore a 4**. Le pareti possono avere sezione orizzontale composta da uno (parete semplice) o più (parete composta) segmenti rettangolari. **Si raccomanda che pareti composte da più segmenti rettangolari collegati o che si intersecano (sezioni a L,T,U o simili) siano considerate unità intere**, che consistono di una o più anime parallele, o approssimativamente parallele, alla direzione della forza di taglio sismica agente e di una o più flange normali o approssimativamente normali ad essa.



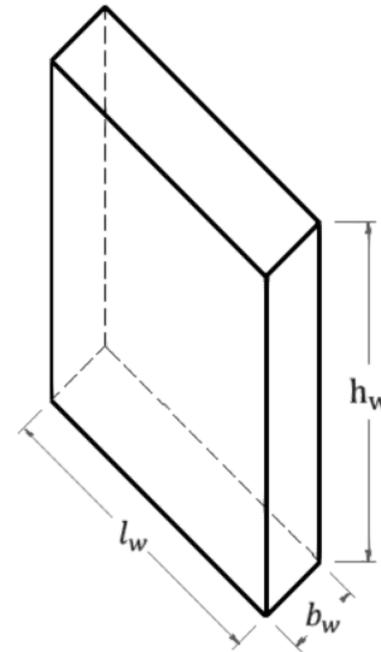
Gerarchia delle resistenze - Pareti

DEFINIZIONE

Lo spessore delle pareti b_w deve essere non inferiore al valore massimo tra 150 mm, (200 mm nel caso in cui nelle travi di collegamento siano da prevedersi, ai sensi del § 7.4.4.6, armature inclinate), e $1/20$ dell'altezza libera di interpiano. Le pareti si definiscono snelle se il rapporto $h_w/l_w > 2$, tozze in caso contrario, essendo h_w l'altezza totale della parete misurata a partire dalla sua base.

PARETI SNELLE : $h_w/l_w > 2$

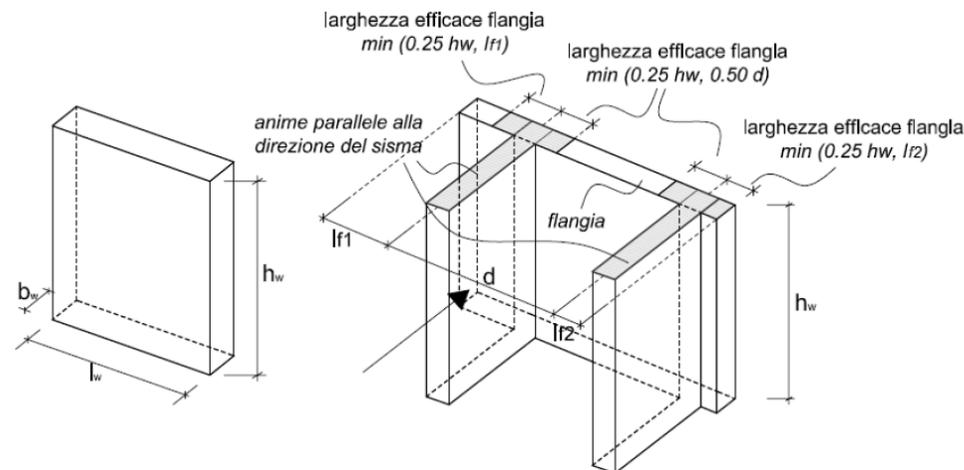
PARETI TOZZE : $h_w/l_w < 2$



Gerarchia delle resistenze - Pareti

VERIFICHE DI RESISTENZA

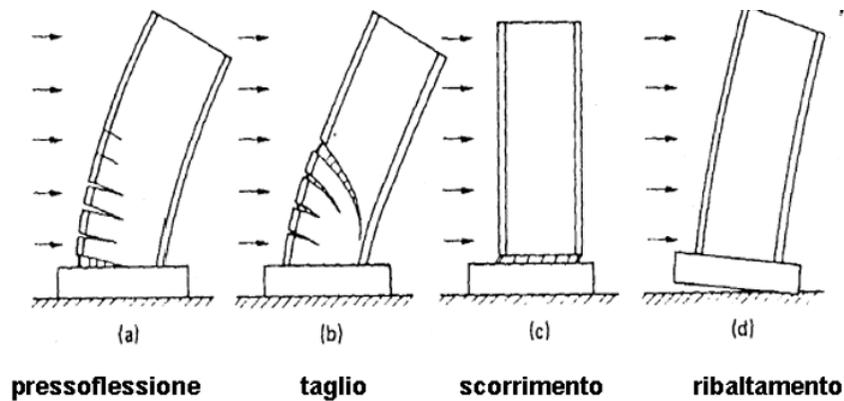
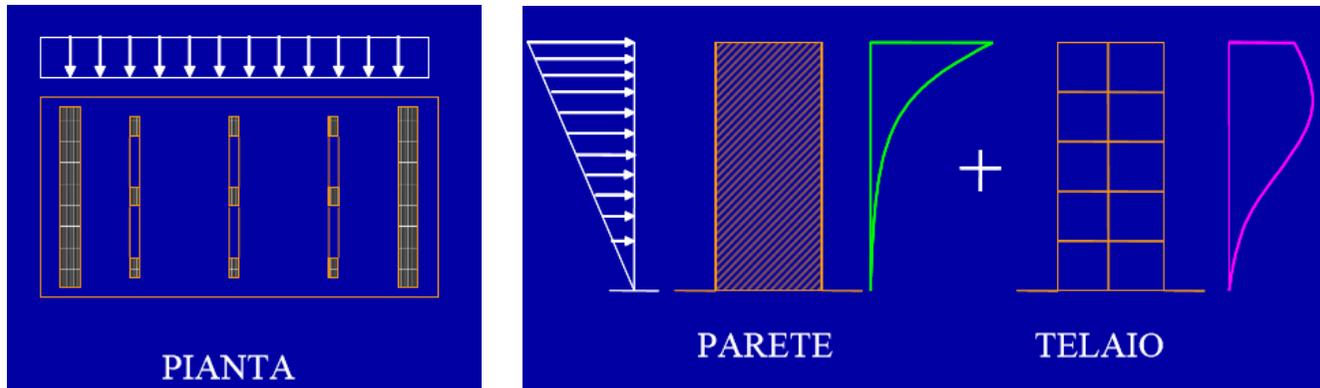
- Nel caso di **pareti semplici**, la verifica di resistenza si esegue con riferimento al rettangolo di base avente dimensione maggiore l_w e dimensione minore b_w .
- Nel caso di **pareti composte**, la verifica di resistenza si esegue considerando la parte di sezione costituita dalle anime parallele, o approssimativamente parallele, alla direzione dell'azione sismica esaminata ed assumendo che la larghezza efficace della flangia su ciascun lato dell'anima considerata si estenda, dalla faccia dell'anima, del valore minimo tra:
 - a) il 25% dell'altezza totale della parete (h_w) al di sopra del livello considerato;
 - b) la metà della distanza tra anime adiacenti.



Gerarchia delle resistenze - Pareti

DEFORMATE E MECCANISMI DI ROTTURA

Il confronto fra le deformate di una parete singola e di un telaio, mostra come ai piani bassi la parete è l'elemento più rigido mentre ai piani alti è il telaio.

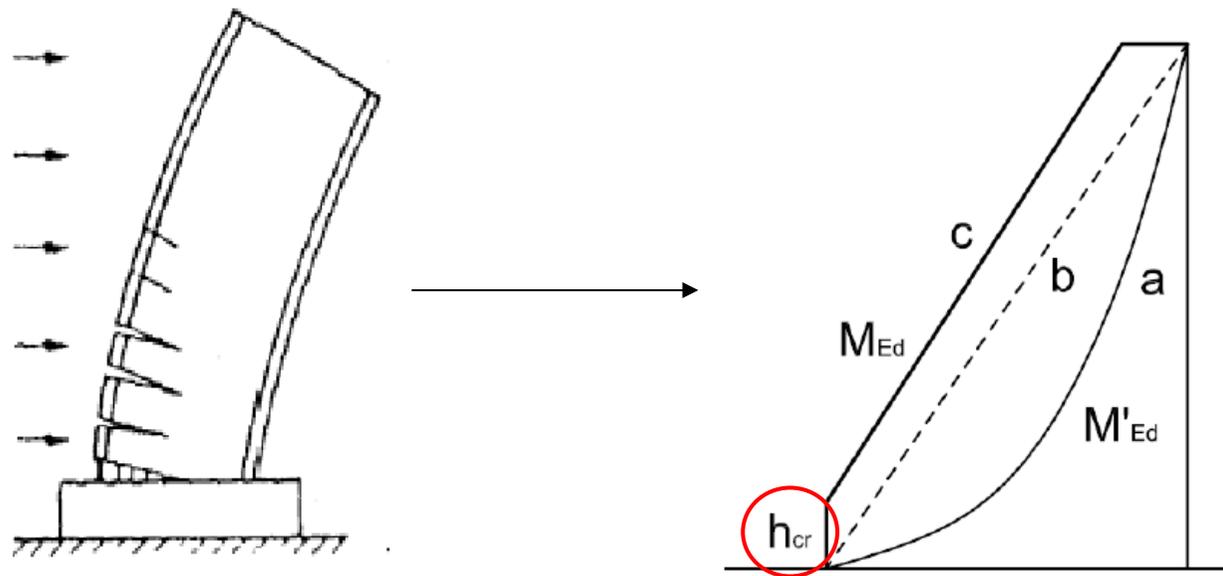


Gerarchia delle resistenze - Pareti

SOLLECITAZIONI DI PRESSO-FLESSIONE

In mancanza di analisi più accurate, le sollecitazioni di calcolo nelle pareti possono essere determinate mediante la seguente procedura semplificata.

Il diagramma dei momenti flettenti lungo l'altezza della parete è ottenuto per traslazione verso l'alto dell'involuppo del diagramma dei momenti derivante dall'analisi. L'involuppo può essere assunto lineare, se la struttura non presenta significative discontinuità in termini di massa, rigidezza e resistenza lungo l'altezza. La traslazione deve essere in accordo con l'inclinazione degli elementi compressi nel meccanismo resistente a taglio e può essere assunta pari ad h_{cr} (altezza della zona critica inelastica di base).



Gerarchia delle resistenze - Pareti

SOLLECITAZIONI DI FLESSIONE

ALTEZZA DELLA ZONA INELASTICA DI BASE h_{cr}

L'altezza h_{cr} al di sopra della base della parete, può essere valutata rispettando le condizioni seguenti:

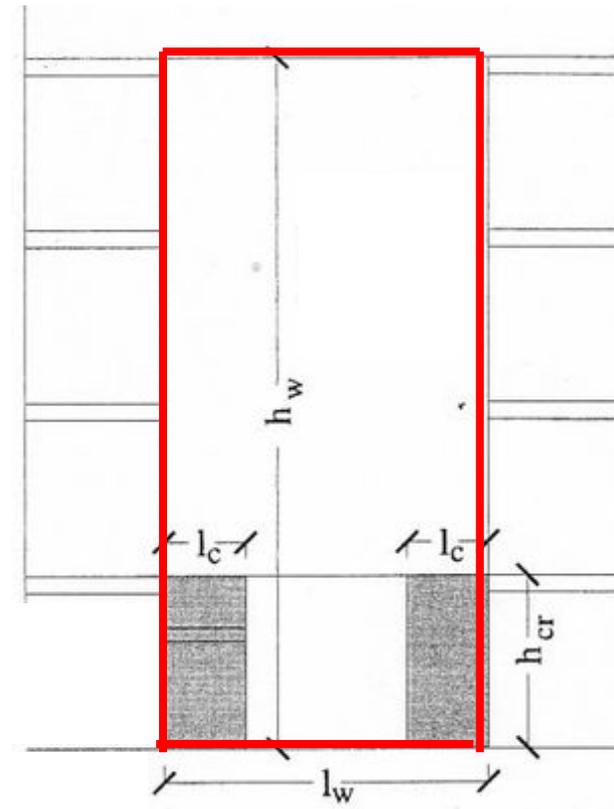
$$h_{cr} = \max(l_w, h_w/6) \text{ purchè } h_{cr} \leq \begin{cases} h_s & \text{per } n \leq 6 \text{ piani} \\ 2 \cdot h_s & \text{per } n \geq 7 \text{ piani} \end{cases}$$

Dove : n è il numero di piani della costruzione, h_s è l'altezza libera di piano.

ATTENZIONE!

L'altezza critica da assumere non deve essere:

- maggiore dell'altezza del piano terra, nel caso di edifici con numero di piani non superiore a 6;
- maggiore di due volte l'altezza del piano terra, per edifici con oltre 6 piani.



Gerarchia delle resistenze - Pareti

SOLLECITAZIONI DI TAGLIO

Per le pareti si deve tener conto del possibile incremento delle forze di taglio a seguito della formazione della cerniera plastica alla base della parete. A tal fine, la **domanda di taglio di progetto deve essere incrementata del fattore:**

$$1,5 \leq q \cdot \sqrt{\left(\frac{\gamma_{rd}}{q} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + 0,1 \left(\frac{S_e(T_C)}{S_e(T_1)}\right)} \leq q \quad \text{per pareti snelle}$$

$$\gamma_{rd} \cdot \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \leq q \quad \text{per pareti tozze}$$

Ponendo $\gamma_{Rd}=1,2$ e indicando con:

- M_{Ed} ed M_{Rd} i momenti flettenti rispettivamente di calcolo e resistente alla base della parete;
- T_1 periodo fondamentale di vibrazione dell'edificio nella direzione dell'azione sismica considerata;
- $S_e(T)$ l'ordinata dello spettro di risposta elastico corrispondente all'ascissa T_1 .

Gerarchia delle resistenze - Pareti

MINIMI DI ARMATURA

1) Le armature, sia orizzontali che verticali, devono avere diametro non superiore ad 1/10 dello spessore della parete, devono essere disposte su entrambe le facce della parete, ad un passo non superiore a 30 cm, devono essere collegate con legature, in ragione di almeno nove ogni metro quadrato.

FUORI ZONA DISSIPATIVA

Nelle parti della parete, in pianta ed in altezza, al di fuori di una zona dissipativa, vanno seguite le seguenti regole, con un'armatura minima verticale e orizzontale, finalizzata a controllare la fessurazione da taglio, avente rapporto geometrico ρ riferito, rispettivamente, all'area della sezione orizzontale e verticale almeno pari allo 0,2%.

1) 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.

2) L'area dei ferri longitudinali non deve essere inferiore a :

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

dove:

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

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

A_c è l'area di calcestruzzo.

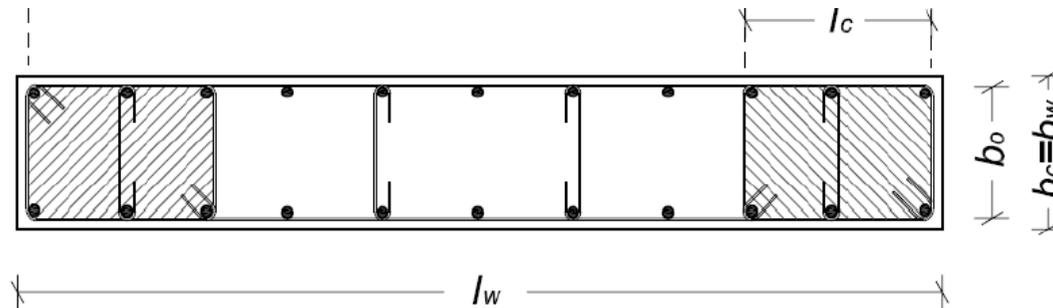
3) Le armature trasversali devono essere poste ad interasse non maggiore di 12 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l'armatura longitudinale, con un massimo di 250 mm. Il diametro delle staffe non deve essere minore di 6 mm e di 1/4 del diametro massimo delle barre longitudinali.

4) Al di fuori delle zone di sovrapposizione il rapporto geometrico ρ dell'armatura totale verticale, deve essere compreso entro i seguenti limiti: $1\% \leq \rho \leq 4\%$

Gerarchia delle resistenze - Pareti

ZONA DISSIPATIVA

1) Nella zona dissipativa si individuano alle estremità della parete due **zone confinate** aventi per lati lo spessore della parete diminuito dello spessore dei copriferri e una lunghezza “confinata” l_c pari al 20% della lunghezza in pianta l_w della parete stessa e comunque non inferiore a 1,5 volte lo spessore della parete.



2) Nelle zone confinate l'interasse tra le barre non deve essere superiore a 25 cm.

3) Nella zona confinata il rapporto geometrico ρ dell'armatura totale verticale, riferito all'area confinata (ad un estremo), deve essere compreso entro i seguenti limiti: $1\% \leq \rho \leq 4\%$

4) Nelle zone confinate l'armatura trasversale deve essere costituita da barre di diametro non inferiore a 6 mm, disposti in modo da fermare una barra verticale ogni due con un passo non superiore a 8 volte il diametro della barra o a 10 cm. La distanza tra due barre vincolate consecutive, deve essere non superiore a 15 cm e 20 cm, rispettivamente per CD'A' e CD'B'.

Gerarchia delle resistenze - Pareti

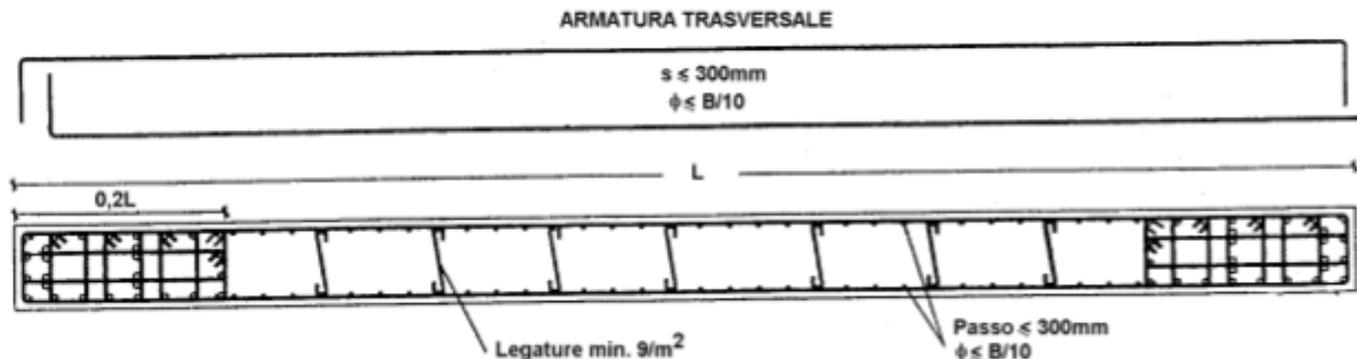
ZONA DISSIPATIVA

5) Nelle zone confinate il passo delle staffe di contenimento e legature deve essere non superiore alla più piccola delle quantità seguenti:

- 1/3 e 1/2 del lato minore della sezione trasversale, rispettivamente per CD"A" e CD"B";
- 12,5 cm e 17,5 cm, rispettivamente per CD"A" e CD"B";
- 6 e 8 volte il diametro delle barre longitudinali che collegano, rispettivamente per CD"A" e CD"B".

6) Nelle zone confinate il rapporto w_d deve essere non minore di 0,08.

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volume delle staffe di confinamento}}{\text{volume del nucleo di calcestruzzo}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$



Gerarchia delle resistenze - Pareti

ESEMPIO



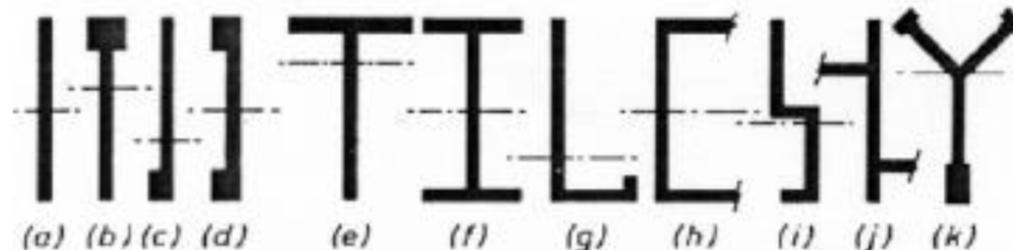
Gerarchia delle resistenze - Pareti

VERIFICHE DI RESISTENZA

- 1) VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE DELLA PARETE
- 2) VERIFICA A TAGLIO-COMPRESSIONE E TAGLIO-TRAZIONE DELLA PARETE
- 3) VERIFICA A SCORRIMENTO NELLE ZONE DISSIPATIVE

Nel caso di **pareti semplici**, la verifica di resistenza si effettua con riferimento al rettangolo di base.

Nel caso di **pareti di forma composta**, la verifica va fatta considerando la parte di sezione costituita dalle anime parallele o approssimativamente parallele alla direzione principale sismica ed attribuendo alle ali dimensioni date dal minimo fra: metà della distanza fra anime adiacenti, 25% dell'altezza complessiva della parete h_w .



Gerarchia delle resistenze - Pareti

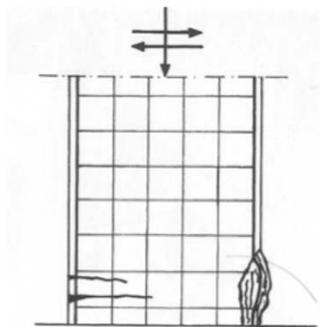
VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE

Per tutte le pareti, la forza normale di compressione non deve eccedere rispettivamente il 40% in CD" B" e il 35% in CD" A" della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.

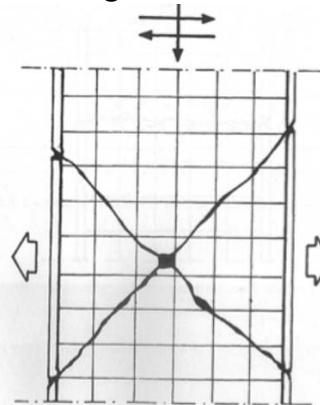
Le verifiche devono essere condotte nel modo indicato per i pilastri tenendo conto, nella determinazione della resistenza, di tutte le armature longitudinali presenti nella parete.

VERIFICA A TAGLIO-COMPRESSIONE E TAGLIO-TRAZIONE

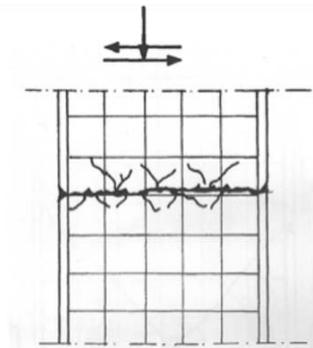
Per le strutture in CD" A" e CD" B" nelle verifiche si deve considerare la possibile rottura a taglio compressione del calcestruzzo dell'anima e la possibile rottura a taglio trazione delle armature dell'anima.



Meccanismo di danno dovuto a flessione e compressione.



Meccanismo di danno dovuto al taglio.



Meccanismo di danno in corrispondenza di riprese di getto

Gerarchia delle resistenze - Pareti

l_w

Resistenza Elementi con armature trasversali a taglio

Verifica a taglio compressione del calcestruzzo dell'anima

La determinazione della resistenza è condotta in accordo con il § 4.1.2.1.3 assumendo un braccio delle forze interne z pari all'80% dell'altezza della sezione ed un'inclinazione delle diagonali compresse pari a 45° . Nelle zone critiche tale resistenza va moltiplicata per un fattore riduttivo 0,4.

Verifica a taglio trazione dell'armatura dell'anima

Il calcolo dell'armatura d'anima deve tener conto del rapporto di taglio $\alpha_s = M_{Ed} / (V_{Ed} \cdot l_w)$ in cui l_w è l'altezza della sezione. Per la verifica va considerato, ad ogni piano, il massimo valore di α_s .

Se $\alpha_s \geq 2$, la determinazione della resistenza è condotta in accordo con il § 4.1.2.1.3 assumendo un braccio delle forze interne z pari all'80% dell'altezza della sezione ed un'inclinazione delle diagonali compresse pari a 45° . Altrimenti si utilizzano le seguenti espressioni:

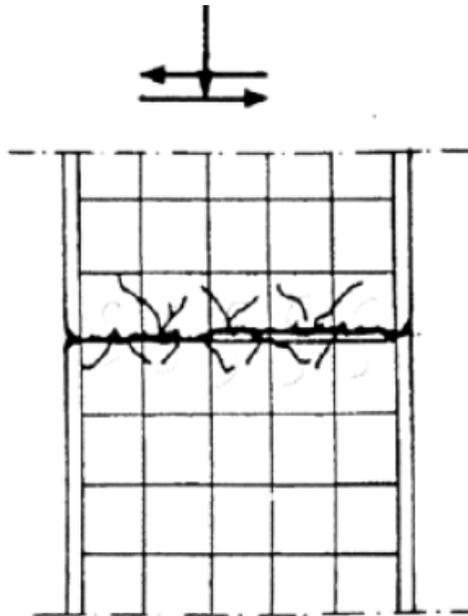
$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} + 0,75 \cdot \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_w \cdot \alpha_s \cdot l_w \quad (7.4.15)$$

$$\rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_w \cdot z \leq \rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot b_w \cdot z + \min N_{Ed} \quad (7.4.16)$$

in cui ρ_h e ρ_v sono i rapporti tra l'area della sezione dell'armatura orizzontale o verticale, rispettivamente, e l'area della relativa sezione di calcestruzzo, $f_{yd,h}$ e $f_{yd,v}$ sono i valori di progetto della resistenza delle armature orizzontali e verticali, b_w è lo spessore dell'anima, N_{Ed} è la forza assiale di progetto (positiva se di compressione), $V_{Rd,c}$ è la resistenza a taglio degli elementi non armati, determinata in accordo con il § 4.1.2.1.3.1, da assumersi nulla nelle zone critiche quando N_{Ed} è di trazione.

Gerarchia delle resistenze - Pareti

VERIFICA DI SCORRIMENTO NELLE ZONE DISSIPATIVE



Sui possibili piani di scorrimento (per esempio le riprese di getto o i giunti costruttivi) posti all'interno delle zone critiche deve risultare:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,S} \quad (7.4.17)$$

dove $V_{Rd,S}$ è il valore di progetto della resistenza a taglio nei confronti dello scorrimento

Gerarchia delle resistenze - Pareti

$$V_{Rd,s} = V_{dd} + V_{id} + V_{fd} \quad (7.4.18)$$

nella quale V_{dd} , V_{id} e V_{fd} rappresentano, rispettivamente, il contributo dell'effetto "spinotto" delle armature verticali, il contributo delle armature inclinate presenti alla base, il contributo della resistenza per attrito, e sono dati dalle espressioni:

$$V_{dd} = \min \begin{cases} 1,3 \cdot \sum A_{sj} \cdot \sqrt{f_{cd} \cdot f_{yd}} \\ 0,25 \cdot f_{yd} \cdot \sum A_{sj} \end{cases} \quad (7.4.19)$$

$$V_{id} = f_{yd} \cdot \sum A_{si} \cdot \cos \phi_i \quad (7.4.20)$$

$$V_{fd} = \min \begin{cases} \mu_f \cdot \left[\left(\sum A_{sj} \cdot f_{yd} + N_{Ed} \right) \cdot \xi + M_{Ed} / Z \right] \\ 0,5\eta \cdot f_{cd} \cdot \xi \cdot l_w \cdot b_{wo} \end{cases} \quad (7.4.21)$$

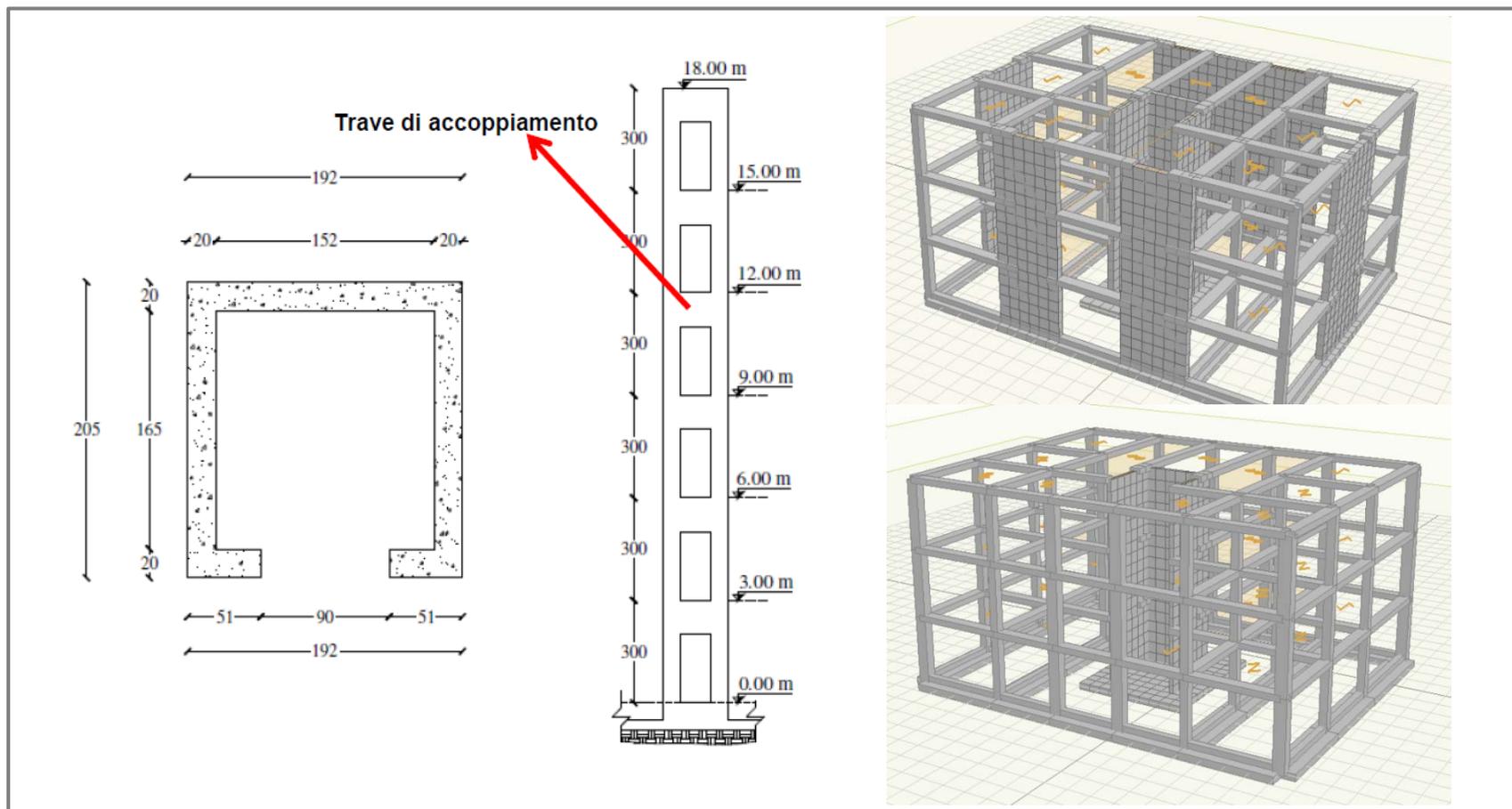
Braccio delle forze interne

dove η è dato dall'espressione (7.4.9) (in cui $\alpha_j=0,60$), μ_f è il coefficiente d'attrito calcestruzzo-calcestruzzo sotto azioni cicliche (può essere assunto pari a 0,60), $\sum A_{sj}$ la somma delle aree delle barre verticali intersecanti il piano contenente la potenziale superficie di scorrimento, ξ l'altezza della parte compressa della sezione normalizzata all'altezza della sezione A_{si} l'area di ciascuna armatura inclinata che attraversa il piano detto formando con esso un angolo ϕ_i .

Per le pareti tozze deve risultare $V_{id} > V_{Ed}/2$.

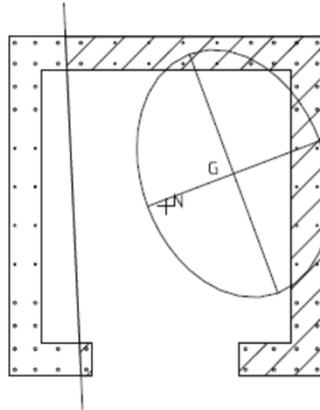
Gerarchia delle resistenze – Nucleo ascensore

INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE DEL NUCLEO ASCENSORE

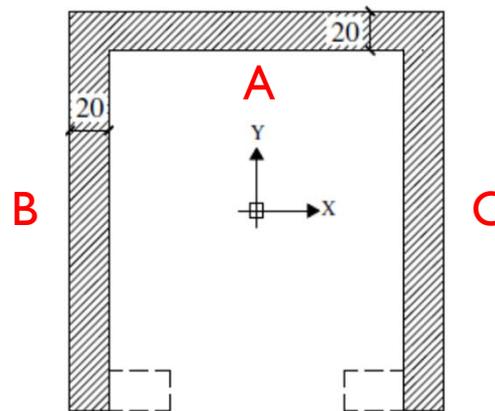


Gerarchia delle resistenze - Nucleo ascensore

La **verifica a pressoflessione** deviata può essere condotta a favore di sicurezza in corrispondenza della foratura a ciascun piano.

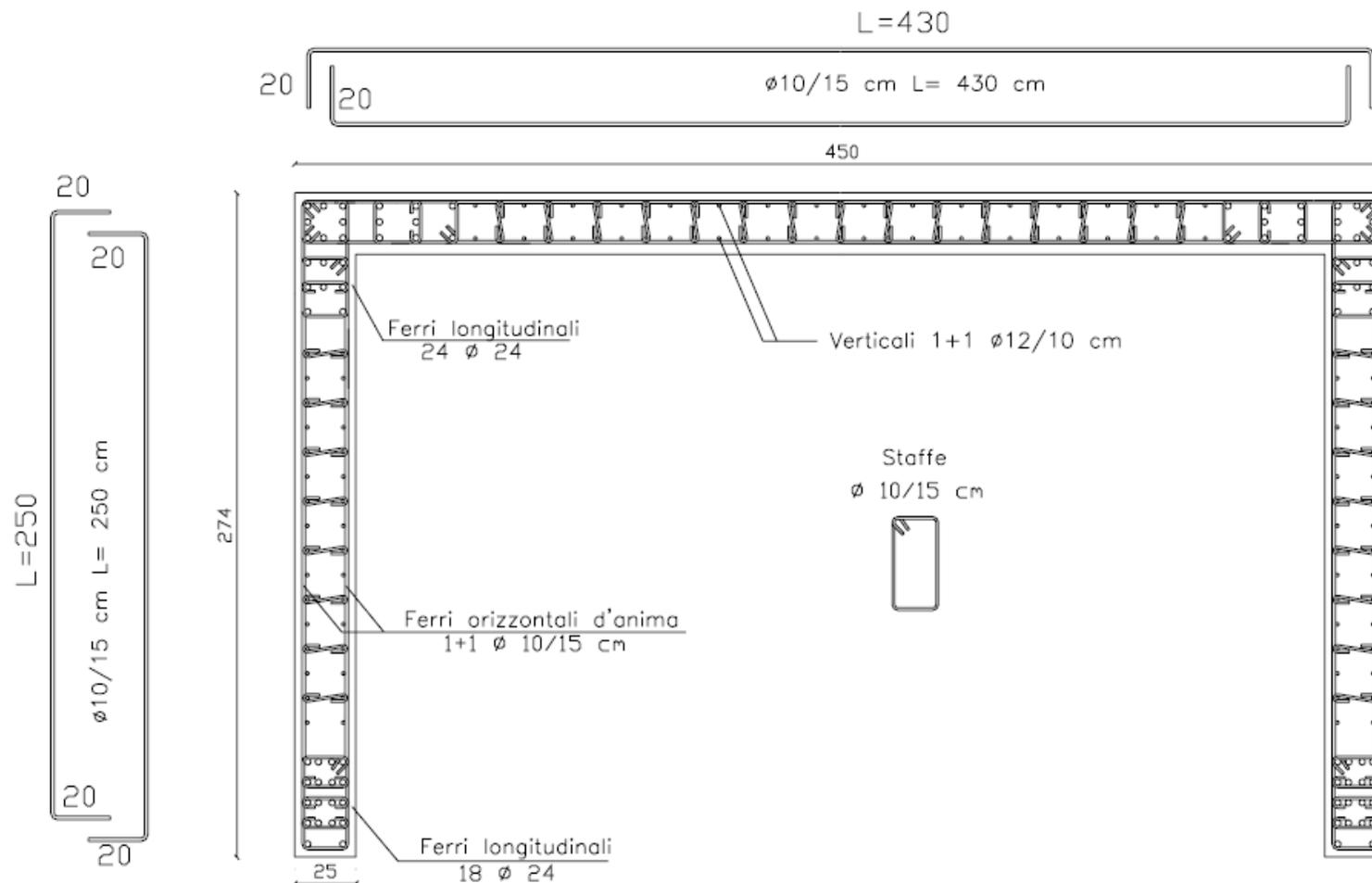


La **verifica a Taglio** può essere condotta considerando come elementi resistenti per il sisma agente lungo “x” la parete “A” e per il sisma agente lungo “y” le pareti “B” e “C”. Si può trascurare il contributo della parete forata e inizialmente il contributo delle flange .



Gerarchia delle resistenze - Nucleo ascensore

All'estremità di ogni singolo setto si individuano le aree confinate nella zona critica.



Gerarchia delle resistenze - Nucleo ascensore

TRAVI DI ACCOPPIAMENTO

La verifica delle travi di accoppiamento è da eseguire con i procedimenti contenuti nel § 7.4.4.1 se è soddisfatta almeno una delle due condizioni seguenti:

- il rapporto tra luce netta e altezza è uguale o superiore a 3;
- la sollecitazione di taglio di calcolo risulta:

Come per le travi

$$V_{Ed} \leq f_{ctd} \cdot b \cdot d \quad , \quad (7.4.22)$$

essendo b la larghezza e d l'altezza utile della sezione.

Se le condizioni precedenti non sono soddisfatte la sollecitazione di taglio deve essere assorbita da due ordini di armature diagonali, opportunamente staffate, disposte ad X sulla trave che si ancorano nelle pareti adiacenti, con sezione pari, per ciascuna diagonale, ad A_s , tale da soddisfare la relazione:

$$V_{Ed} \leq 2 A_s f_{yd} \cdot \sin \phi \quad (7.4.23)$$

essendo ϕ l'angolo minimo tra ciascuna delle due diagonali e l'asse orizzontale.

Travi aventi altezza pari allo spessore del solaio non sono da considerare efficaci ai fini dell'accoppiamento.

Gerarchia delle resistenze - Nucleo ascensore

DETTAGLI COSTRUTTIVI

- Nel caso di armatura ad X, ciascuno dei due fasci di armatura deve essere racchiuso da armatura a spirale o da staffe di contenimento con passo non superiore a 100 mm.
- Nel caso di armatura ad X, in aggiunta all'armatura diagonale, deve essere aggiunta armatura in direzione longitudinale e trasversale in quantità almeno pari a $\varnothing 10$ passo 10×10 . Secondo le NTC almeno due barre di armatura $\varnothing 16$ deve essere disposta ai bordi superiore ed inferiore.
- L'armatura longitudinale può estendersi nelle pareti per soli 150mm.
- Gli ancoraggi delle armature nelle pareti devono essere del 50% più lunghi di quanto previsto per il dimensionamento in condizioni non sismiche.

