

Progettazione strutturale 2M A

Progetto di una struttura in c.a. :
progetto dei nodi in zona sismica

Ing. Gabriele Fiorentino
gabriele.fiorentino@uniroma3.it

Progetto struttura: indice presentazione

- ❑ **Definizione dei nodi** trave-pilastro: **tipologie**
- ❑ **Sollecitazioni di progetto**: il taglio nei nodi (gerarchia delle resistenze)
- ❑ **Minimi di norma** (geometrie ed armature)
- ❑ Meccanismi resistenti dei nodi e **verifiche di resistenza**
- ❑ **Particolari costruttivi**

Nodi: definizioni e tipologie

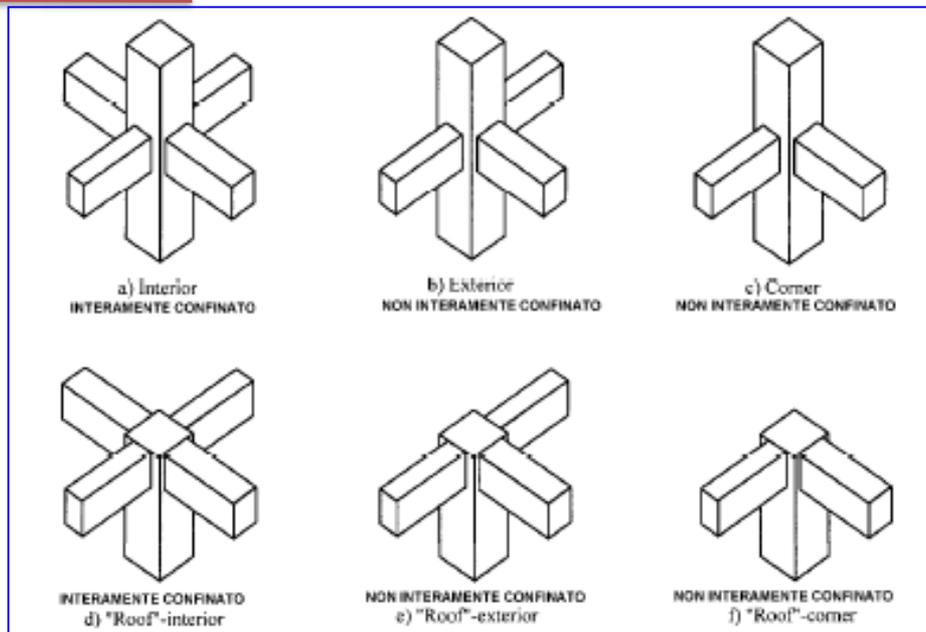
7.4.4.3 Nodi trave-pilastro

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

Si distinguono due tipi di nodi:

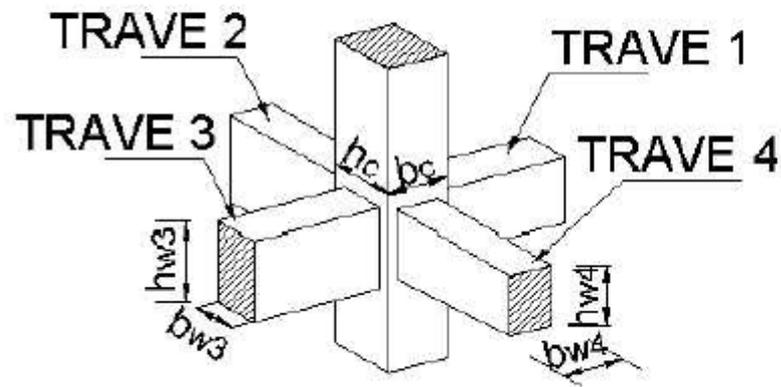
- nodi interamente confinati, così definiti quando in ognuna delle quattro facce verticali si innesta una trave. Il confinamento si considera realizzato quando, su ogni faccia del nodo, la sezione della trave copre per almeno i 3/4 la larghezza del pilastro e, su entrambe le coppie di facce opposte del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



Nodi: definizioni e tipologie

- Definizione delle tipologie di nodo in c.a.

NODO INTERAMENTE CONFINATO

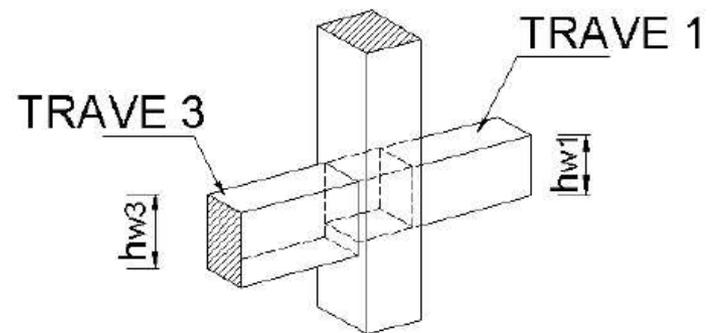


$$b_{w1,3} \geq 3h_c/4$$

$$b_{w2,4} \geq 3b_c/4$$

.....
CONFINAMENTO – Normativa Italiana

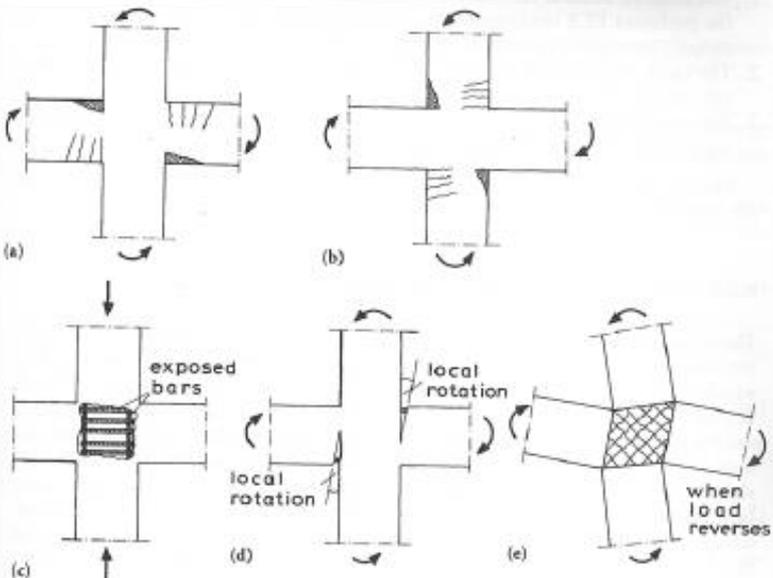
NODO INTERAMENTE CONFINATO



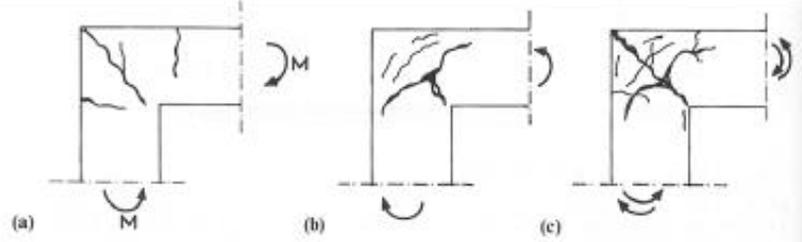
$$\min(h_{w1}, h_{w3}) \geq 3/4 \max(h_{w1}, h_{w3})$$

$$\min(h_{w2}, h_{w4}) \geq 3/4 \max(h_{w2}, h_{w4})$$

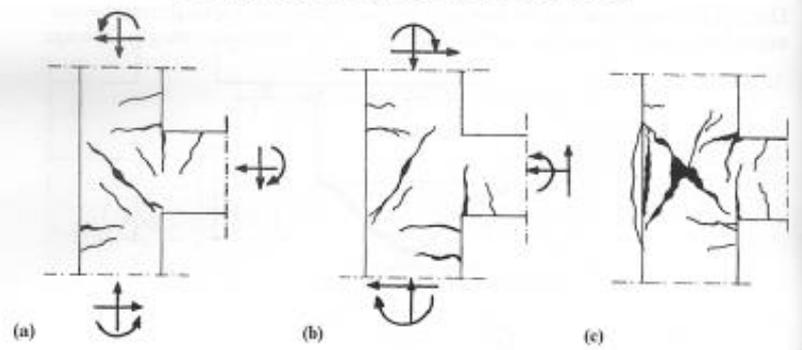
Nodi: tipologie di collasso



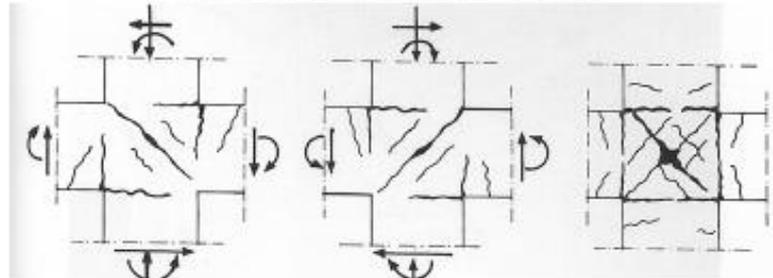
Tipologie di collasso in nodi trave-colonna: (a) raggiungimento della capacità portante nella trave; (b) raggiungimento della capacità portante nella colonna; (c) espulsione del copriferro nel nodo; (d) collasso per ancoraggio delle armature della trave; (e) collasso a taglio del pannello di nodo.



Collasso di un nodo d'angolo.



Collasso di un nodo esterno



Collasso di un nodo interno

Calcolo sollecitazioni nei nodi

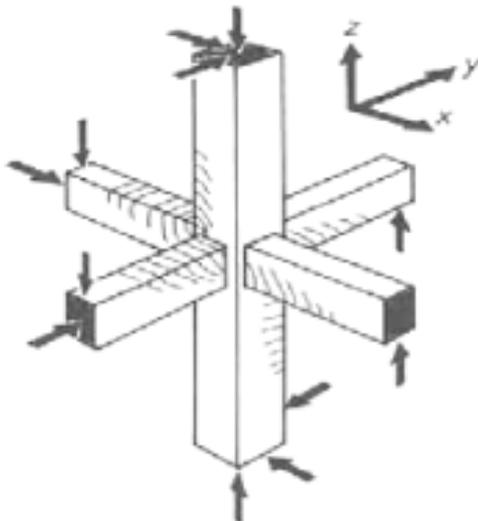
□ §7.4.3.3 NTC2008

Il taglio 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. 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:

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} (A_{s1} + A_{s2}) f_{yd} - V_C \text{ per nodi interni} \quad (7.4.6)$$

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_C \text{ per nodi esterni} \quad (7.4.7)$$

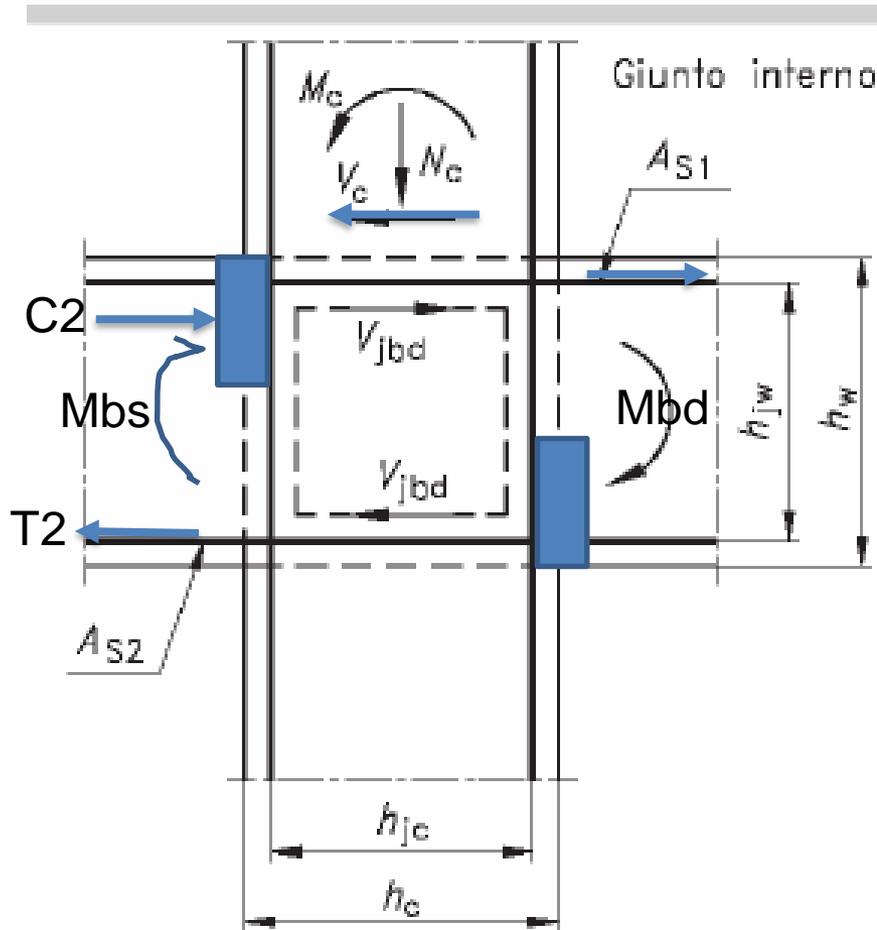
in cui $\gamma_{Rd} = 1,20$, A_{s1} ed A_{s2} sono rispettivamente l'area dell'armatura superiore ed inferiore della trave e V_C è la forza di taglio nel pilastro al di sopra del nodo, derivante dall'analisi in condizioni sismiche.



- 2 sollecitazioni di taglio nel nodo: $V_{jbd,x}$ e $V_{jbd,y}$ da equilibrio lungo x e lungo y (travi principali e travi secondarie).
- V_C (taglio pilastro) in via semplificata per il progetto, è quello delle combo sismiche che massimizza V_{jdb} nel nodo
- γ_{Rd} è il coeff. di sovra-resistenza per incrementare i momenti resistenti calcolati con il diagramma di norma dell'acciaio con massima tensione f_{yd} (§4, NTC2008). NB: cerco i massimi momenti resistenti per avere il massimo V_{jbd} .

Progetto struttura: sollecitazione nei nodi

Forze di taglio orizzontali agenti sui nodi trave-colonna



NODI INTERNI

- Taglio nel nodo da equilibrio forze orizzontali sulla faccia superiore del nodo:

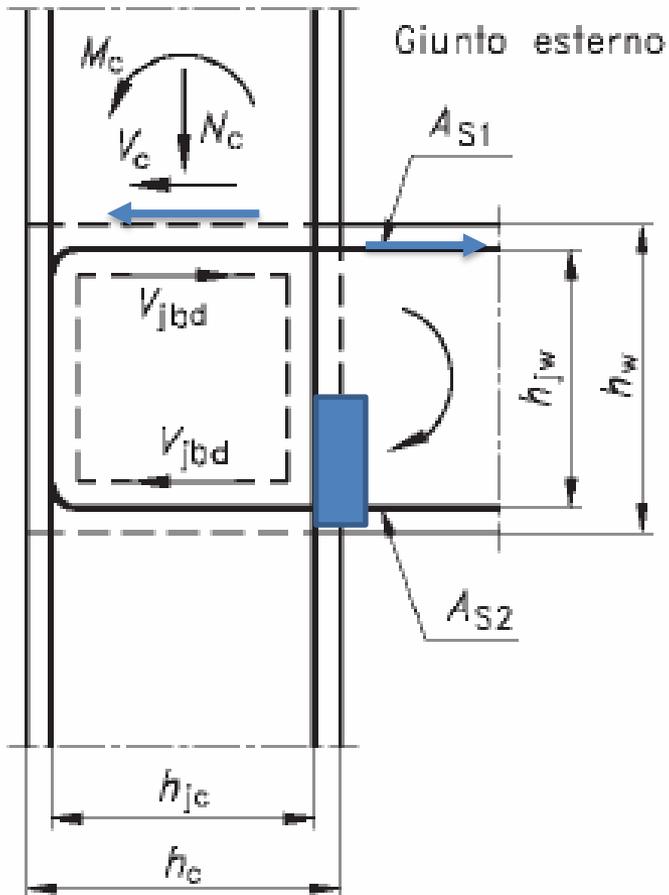
$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} * A_{s1} * f_{yd} + C_2 - V_c$$

- da equilibrio nella sezione della trave soggetta alla sola flessione

$$C_2 = T_2 = \gamma_{Rd} * A_{s2} * f_{yd}$$

Progetto struttura: sollecitazione nei nodi

NODI ESTERNI



- Taglio nel nodo da equilibrio forze orizzontali sulla faccia superiore del nodo:

$$V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_c$$

Minimi per le armature dei nodi

7.4.6.2.3 Nodi trave-pilastro

Indipendentemente da quanto richiesto dalla verifica nel § 7.4.4.3.1, lungo le armature longitudinali del pilastro che attraversano i nodi non confinati devono essere disposte staffe di contenimento in quantità almeno pari alla maggiore prevista nelle zone del pilastro inferiore e superiore adiacenti al nodo. Questa regola può non essere osservata nel caso di nodi interamente confinati.

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:

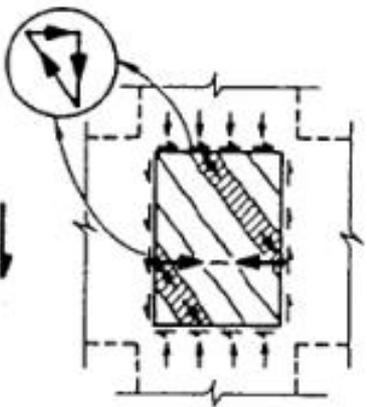
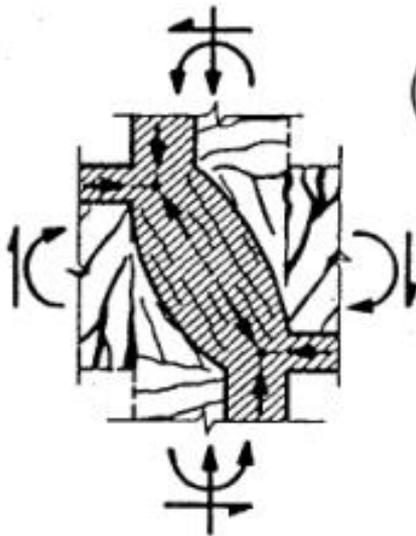
$$\frac{n_{st} \cdot A_{st}}{i \cdot b_j} \geq 0,05 \frac{f_{ck}}{f_{yk}} \quad (7.4.29)$$

nella quale n_{st} ed A_{st} sono rispettivamente il numero di bracci e l'area della sezione trasversale della barra della singola staffa orizzontale, i è l'interasse delle staffe, e b_j è la larghezza utile del nodo determinata come segue:

- se la trave ha una larghezza b_w superiore a quella del pilastro b_c , allora \bar{b}_j è il valore minimo fra b_w e $b_c + h_c/2$, essendo h_c la dimensione della sezione della colonna parallela alla trave;
- se la trave ha una larghezza b_w inferiore a quella del pilastro b_c , allora \bar{b}_j è il valore minimo fra b_c e $b_w + h_c/2$.

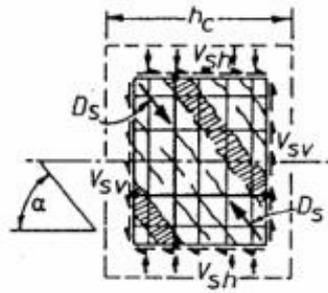
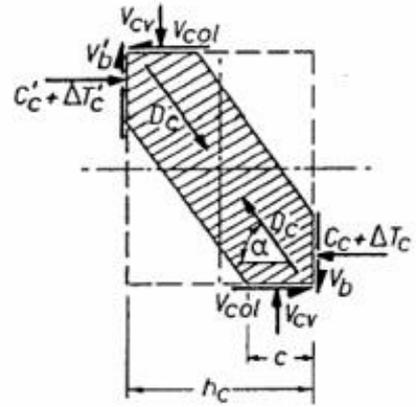
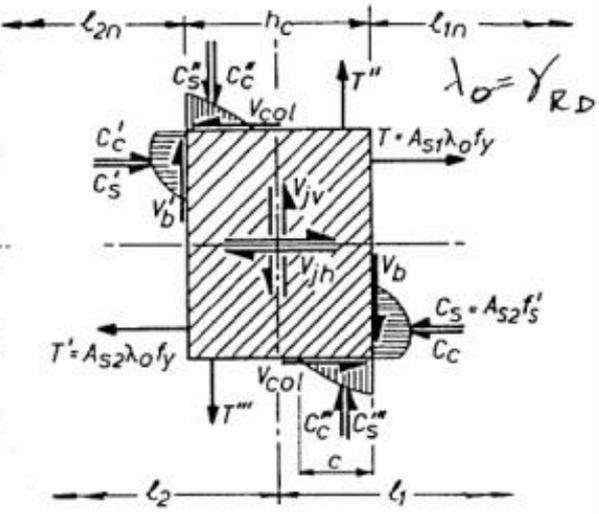
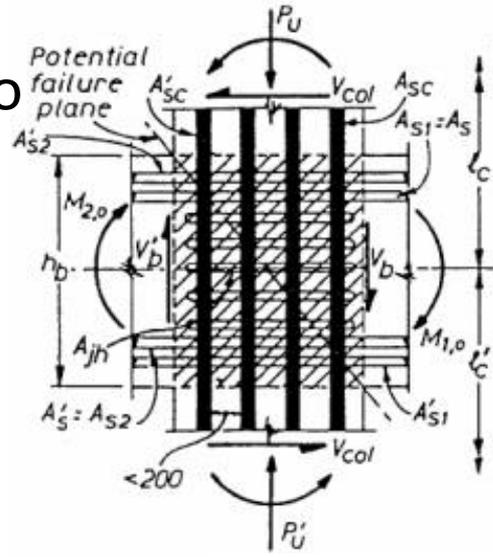
Progetto struttura: meccanismi resistenti nel nodo

- ☐ Puntone diagonale
- ☐ Meccanismo di confinamento



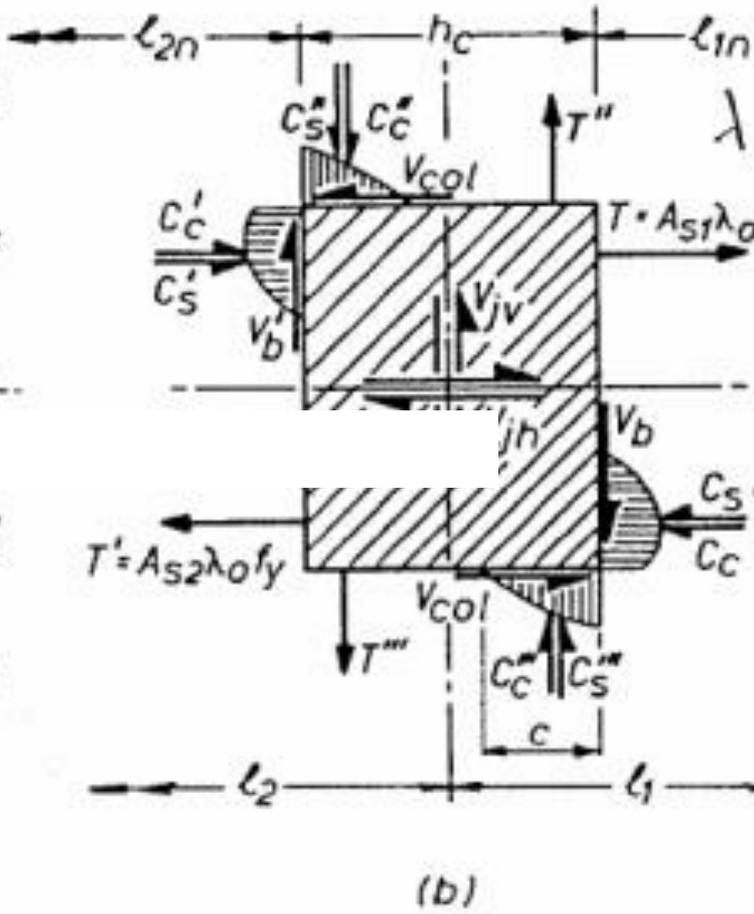
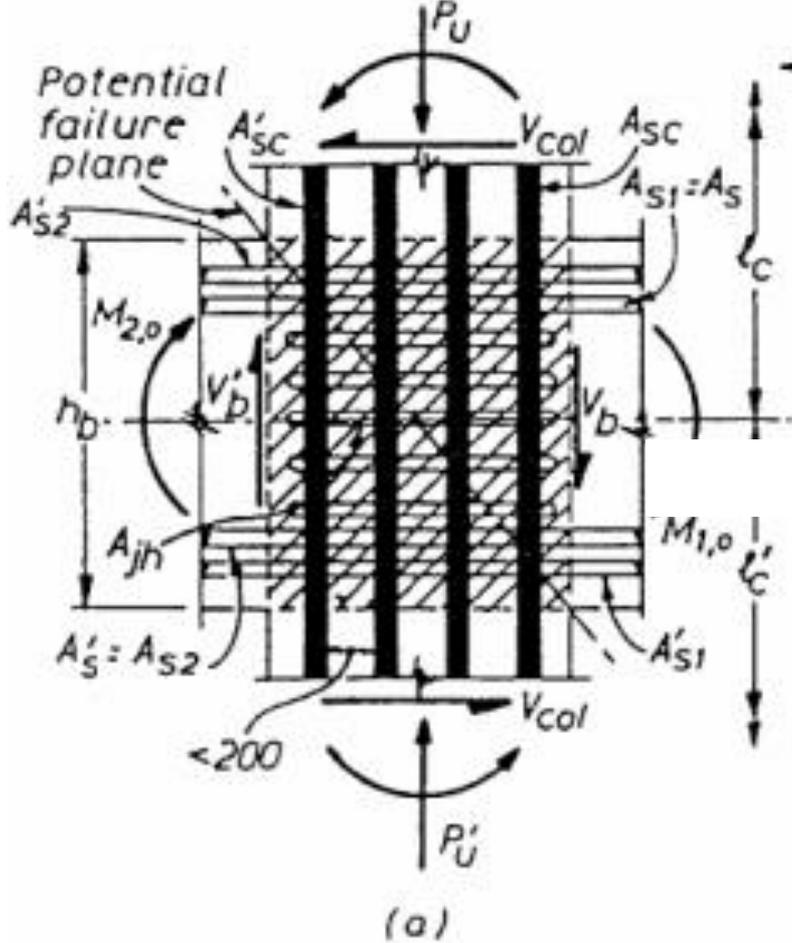
(a) Concrete Strut

(b) Diagonal Compression Field



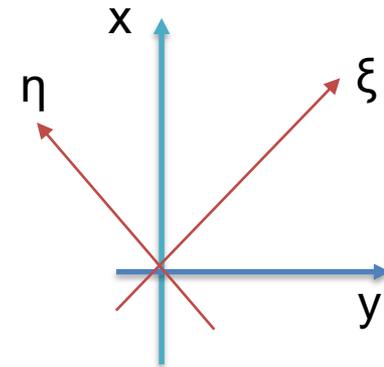
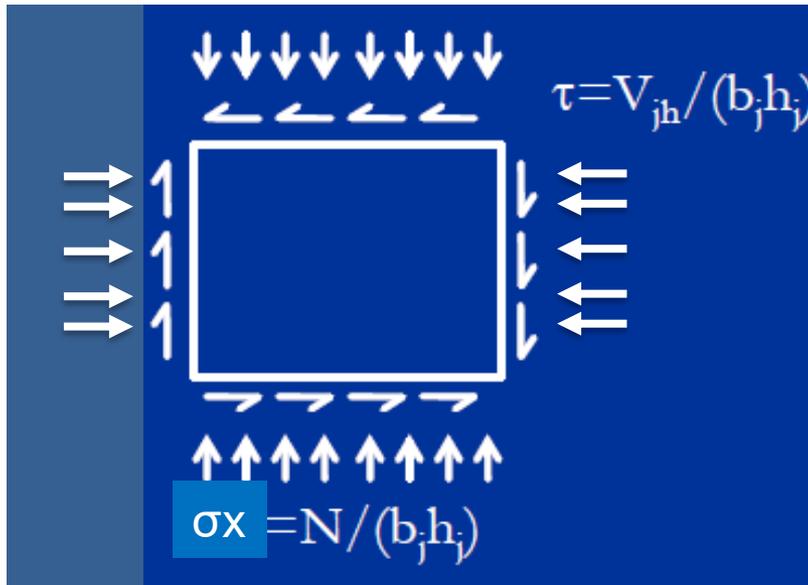
Progetto struttura: meccanismi resistenti nel nodo

- ❑ Puntone diagonale
- ❑ Meccanismo di confinamento



Progetto struttura: verifiche a taglio dei nodi

- ❑ Un nodo è soggetto a un insieme di sollecitazioni (N , V , d , b , confinamento staffe,...) che inducono delle tensioni perpendicolari (σ_x , σ_y) e tangenziali (τ) alle facce del nodo
- ❑ Cerco le tensioni principali (σ_η , σ_ξ) partendo dalle tensioni (σ_x , σ_y , τ)



Valuto le tensioni agenti sul nodo in un riferimento (η , ξ , rosso) ruotato rispetto a quello (x e y , blu) in cui le tensioni tangenziali sono nulle ($\tau=0$). Le tensioni normali ai piani perpendicolari a η o a ξ (σ_η , σ_ξ) sono dette tensioni principali e sono di segno opposto (una di compressione e una di trazione)

$$\begin{matrix} \sigma_\xi \\ \sigma_\eta \end{matrix} = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau^2}$$

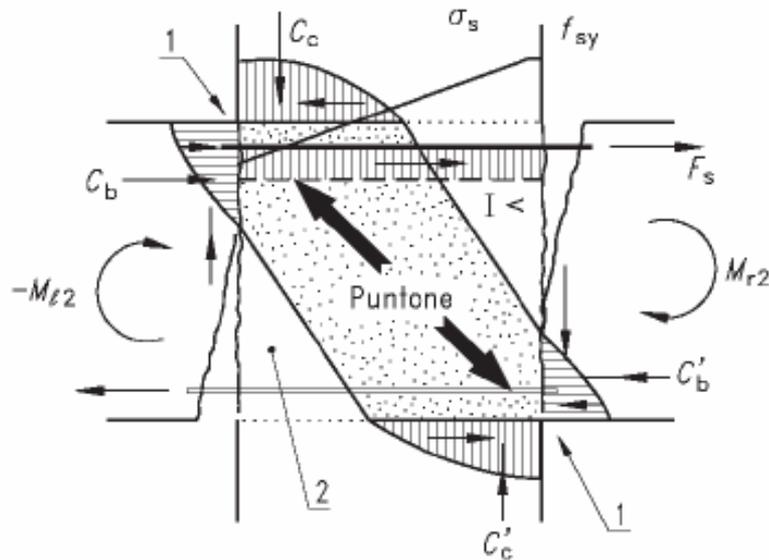
Progetto struttura: meccanismo a puntone

- Le sollecitazioni nelle travi e nei pilastri generano nel nodo una forza sollecitante di compressione; un puntone diagonale nel nodo deve resistere a tale compressione

Meccanismo a puntone diagonale

Legenda

- 1 Fessura chiusa
- 2 Tirante



$$b_j = \max \{ b_{col}; b_{w,trave} \}$$

$$b_j = \min \{ b_{col} + \frac{1}{2} h_{col}; b_{w,trave} + \frac{1}{2} h_{col} \}$$

- La tensione principale di compressione non deve eccedere un valore limite ("tensione resistente" a compressione del calcestruzzo per fattore di correzione η)

Progetto struttura: verifica puntone compresso

7.4.4.3.1 Verifiche di resistenza

La verifica di resistenza del nodo deve essere effettuata per le sole strutture in CD" A".

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:

$$V_{jbd} \leq \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}} \quad (7.4.8)$$

in cui

$$\eta = \alpha_j \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ con } f_{ck} \text{ espresso in MPa} \quad (7.4.9)$$

ed 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_{jc} è la distanza tra le giaciture più esterne di armature del pilastro, b_j è la larghezza effettiva del nodo. Quest'ultima è assunta pari alla minore tra:

- la maggiore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave;
- la minore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave, ambedue aumentate di metà altezza della sezione del pilastro.

❑ Usiamo per semplificare il progetto il v_d a favore di sicurezza ossia quello dalle combo sismiche che minimizza la resistenza!!!

Progetto struttura: verifica nodi

7.4.4.3.1 Verifiche di resistenza

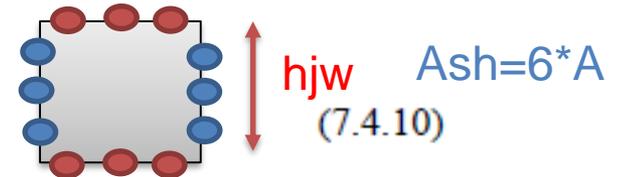
$$\sigma_{c,transv} \geq \frac{\tau^2 - f_{ctd} (f_{ctd} + \sigma)}{f_{ctd} + \sigma}$$

- esplicitando la definizione delle tensioni $\sigma = v_d \cdot f_{cd}$ e $\tau = V_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})$ funzione delle sollecitazioni

Per evitare che la massima trazione diagonale del calcestruzzo ecceda la f_{ctd} 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:

Alternativa 1

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



in cui i simboli già utilizzati hanno il significato in precedenza illustrato, A_{sh} è l'area totale della sezione delle staffe e h_{jw} è la distanza tra le giaciture di armature superiori e inferiori della trave.

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

Alternativa 2

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \text{ per nodi interni} \quad (7.4.11)$$

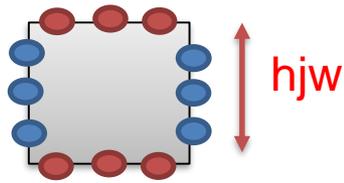
$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \text{ per nodi esterni} \quad (7.4.12)$$

dove A_{s1} ed A_{s2} hanno il significato visto in precedenza, γ_{Rd} vale 1,20, v_d è la forza assiale normalizzata agente al di sopra del nodo, per i nodi interni, al di sotto del nodo, per i nodi esterni.

Progetto struttura: note su verifica dei nodi

- ❑ Sollecitazioni di taglio nel nodo $V_{jbd,x}$ e $V_{jbd,y}$ vanno confrontate con le resistenze a taglio nel nodo **nelle due direzioni x e y.**
- ❑ Le sollecitazioni devono essere minori delle resistenze per ciascuna delle due direzioni
- ❑ Geometrie ed armature finali nel nodo sono quelle che garantiscono il rispetto delle due **verifiche a taglio nel nodo lungo x e lungo y**
- ❑ le staffe da mettere nel nodo, una volta scelto il diametro delle barre con cui le si realizza, **avranno il passo minore** tra quelli determinati per il rispetto delle verifiche a taglio lungo x o lungo y

Progetto struttura: nodi



□ Esempio:

$$\frac{A_{sh_1} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} = \frac{A_{sh_1} \cdot 391.3}{450 \cdot 460} \geq \frac{[V_{jbd_1} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} = \frac{[495000 / (450 \cdot 260)]^2}{1.35 + 0.184 \cdot 15.87} - 1.35$$

$A_{sh_dir1} \geq 1002 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_{sh_2} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} = \frac{A_{sh_1} \cdot 391.3}{300 \cdot 460} \geq \frac{[V_{jbd_2} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} = \frac{[545000 / (300 \cdot 410)]^2}{1.35 + 0.184 \cdot 15.87} - 1.35$$

$A_{sh_dir2} \geq 1145 \text{ mm}^2$

Staffe disposte nel nodo $\Phi 10/55\text{mm}$ $A_{sh_dir1/2} = 1427 \text{ mm}^2$

Progetto struttura: nodi

□ Sollecitazione: taglio nei nodi

□

$$\frac{A_{sh_1} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} = \frac{A_{sh_1} \cdot 391.3}{450 \cdot 460} \geq \frac{[V_{jbd_1} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} = \frac{[495000 / (450 \cdot 260)]^2}{1.35 + 0.184 \cdot 15.87} - 1.35$$

$A_{sh_dir1} \geq 1002 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_{sh_2} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} = \frac{A_{sh_1} \cdot 391.3}{300 \cdot 460} \geq \frac{[V_{jbd_2} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} = \frac{[545000 / (300 \cdot 410)]^2}{1.35 + 0.184 \cdot 15.87} - 1.35$$

$A_{sh_dir2} \geq 1145 \text{ mm}^2$

Staffe disposte nel nodo $\Phi 10/55\text{mm}$ $A_{sh_dir1/2} = 1427 \text{ mm}^2$