Test 25 DETTAGLI COSTRUTTIVI C.A. NTC2018: NODI TRAVE-PILASTRO

Revisione: 00
Data: 12/04/18
Programma: PRO_SAP RY2018(b) Versione 18.1.2 beta 1
Versione: 2018.03.180
Files: ver_nodi.PSP

- ## Scopo:

Validazione del calcolo per la verifica di resistenza dei nodi TRAVE-PILASTRO secondo il paragrafo 7.4.4.3.1 delle Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 *(NTC2018 – formule: [7.4.7], [7.4.8], [7.4.10], [7.4.12]),* per strutture in zona sismica.

- ## Descrizione test:

Si prende in esame un modello semplice composto da un edificio di 7 piani con 2 campate in una direzione e 3 campate nell'altra, regolare in pianta ed altezza *(figura 1),* caratterizzato da l'utilizzo di *cls ordinario C25/30* per travi e pilastri e *acciaio B450C* per le barre d'armatura, pilastri di sezione rettangolare 50x50cm e *travi di sezione rettangolare* di sezione *30x40cm*, con copriferro pari a 2cm, staffe Φ8 a quattro braccia per i pilastri. Per la quantificazione dell'azione sismica si è assunto: località *Ferrara* classe d'uso *II*, Vita nominale V_n = 50 anni, categoria di suolo di fondazione *B* e categoria topografia *T1*.

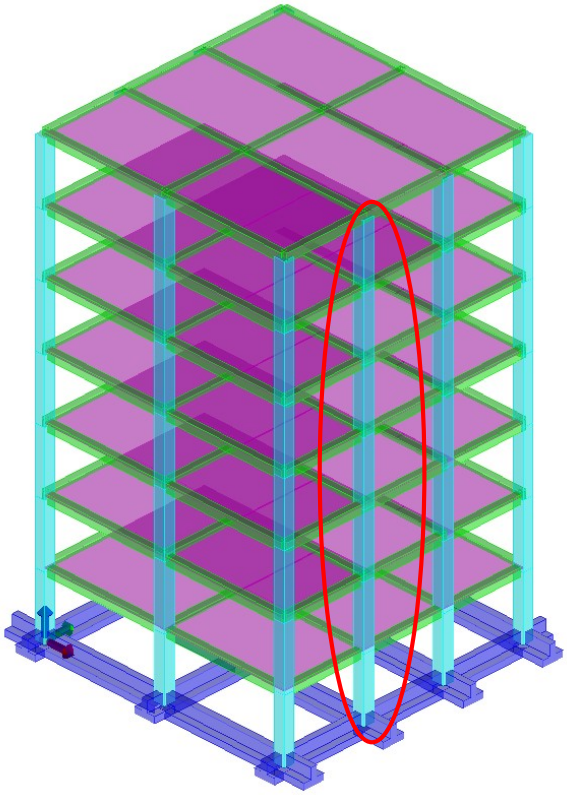


Figura 1 : Modello Fem Analizzato

La verifica a resistenza dei nodi è stata effettuata lungo una pilastrata esterna della struttura, quindi i nodi risultano essere non confinati. I nodi devono essere progettati in maniera tale da evitare una sua rottura anticipata rispetto alle zone delle travi e dei pilastri in esso concorrenti. Inoltre, il comportamento di un nodo è caratterizzato da una complessa interazione dei meccanismi di taglio, aderenza e confinamento, che si sviluppano in una zona piuttosto limitata.

Considerando l'equilibrio del nodo, si vede che questo è soggetto a due tipi di azioni:

- compressione del cls in due angoli opposti, generata dalla flessione e compressione(b);
- tensioni tangenziali lungo il perimetro dovute al taglio e trasmesse per aderenza dalle armature delle travi e dei pilastri (c);

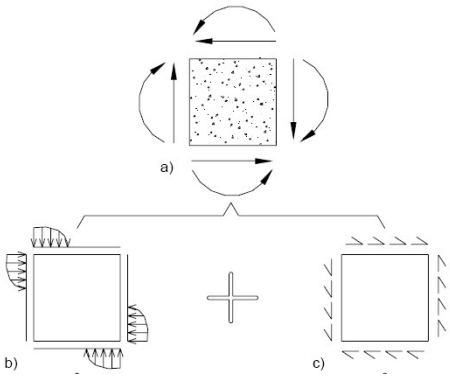


Figura 2 : Equilibrio nodale delle tensioni

Il meccanismo resistente è formato da una diagonale compressa di calcestruzzo, delimitata all'incirca dagli assi neutri delle sezioni terminali degli elementi concorrenti (d), e da un *meccanismo a traliccio* formato dalle staffe orizzontali e dalle barre verticali delle colonne (f) ed elementi inclinati di cls compresso fra le fessure da taglio (e).

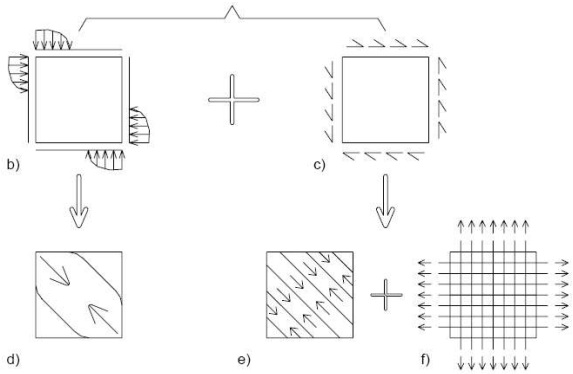


Figura 3 : Equilibrio nodale e meccanismo traliccio

Il principale elemento del meccanismo resistente è la *diagonale compressa* che porta la maggior parte del taglio. Quanto maggiore è lo sforzo di compressione nei pilastri, tanto maggiore è la larghezza della diagonale compressa, facendo attenzione a non eccedere provocando il collasso della biella di cls.
Il resto viene trasmesso per aderenza dalle barre lungo le facce del nucleo di calcestruzzo. Tali tensioni di aderenza possono produrre delle fessure che si sviluppano lungo il puntone diagonale e parallelamente ad esso. In queste condizioni garantiscono l'attivazione del meccanismo a traliccio. Il taglio agente in direzione orizzontale nel nodo, secondo i criteri di gerarchia delle resistenze, si ricava considerando l'equilibrio del nodo nella situazione in cui le armature longitudinali delle travi abbiano raggiunto lo snervamento.

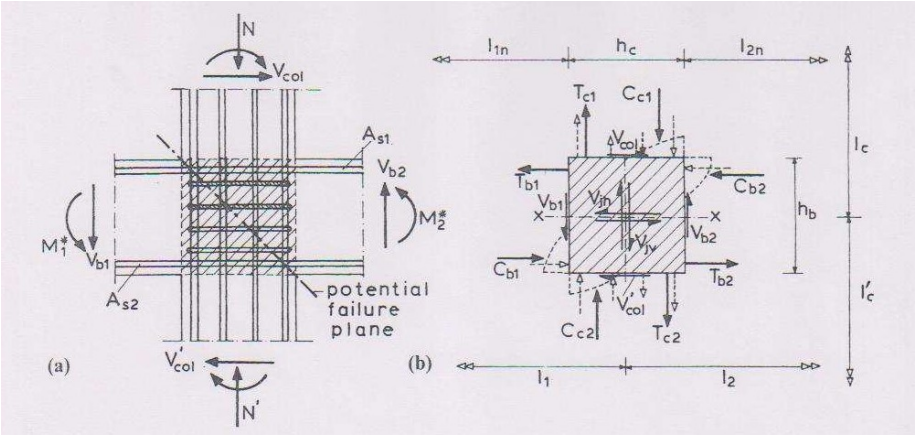


Figura 4 : Equilibrio nodale cemento armato

Dall'equilibrio alla traslazione orizzontale del nodo possiamo ricavare, in assenza di più accurate valutazioni, la forza di taglio agente nel nucleo di calcestruzzo del nodo. Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 propongono la formulazione dell'equilibrio nodale (con opportuni coefficienti parziali di sicurezza) e le verifiche da soddisfare per garantire la che biella di calcestruzzo non collassi (*formula 7.4.8*). Inoltre le norme prevede un quantitativo minimo di armatura a taglio nel nodo per evitare un eccessiva trazione diagonale del cls e prevedere un adeguato confinamento (*formula 7.4.10 e formula 7.4.12*)

La domanda a taglio in direzione orizzontale deve essere calcolata 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 domanda a taglio agente nel nucleo di calcestruzzo del nodo può essere calcolata, per ciascuna direzione dell'azione sismica, come:

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

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

in cui per il valore di γ_{Rd} si veda la Tab. 7.2.I, 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.

Figura 5 : Domanda a Taglio NTC2018

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.

La compressione nel puntone 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:

$$V_{jbd} \le \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j \cdot h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{\nu_d}{\eta}} \qquad [7.4.8]$$

in cui

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

ed α_j è un coefficiente che vale 0,6 per nodi interni e 0,48 per nodi esterni, ν_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 delle armature del pilastro, b_j è la larghezza effettiva del nodo.

Figura 6 : Capacità a Taglio NTC2018

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:

$$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \ge \frac{\left[V_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})\right]^2}{f_{ctd} + \nu_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} \qquad [7.4.10]$$

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:

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

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \ge \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0{,}8\nu_d) \quad \text{per nodi esterni} \qquad [7.4.12]$$

dove per il valore di γ_{Rd} si veda la Tab. 7.2.I, A_{s1} ed A_{s2} hanno il valore visto in precedenza, ν_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.

Figura 7 : Minimi Armatura a Taglio nel nodo NTC2018

Dettagli Costruttivi dei Nodi con il software PRO_SAP

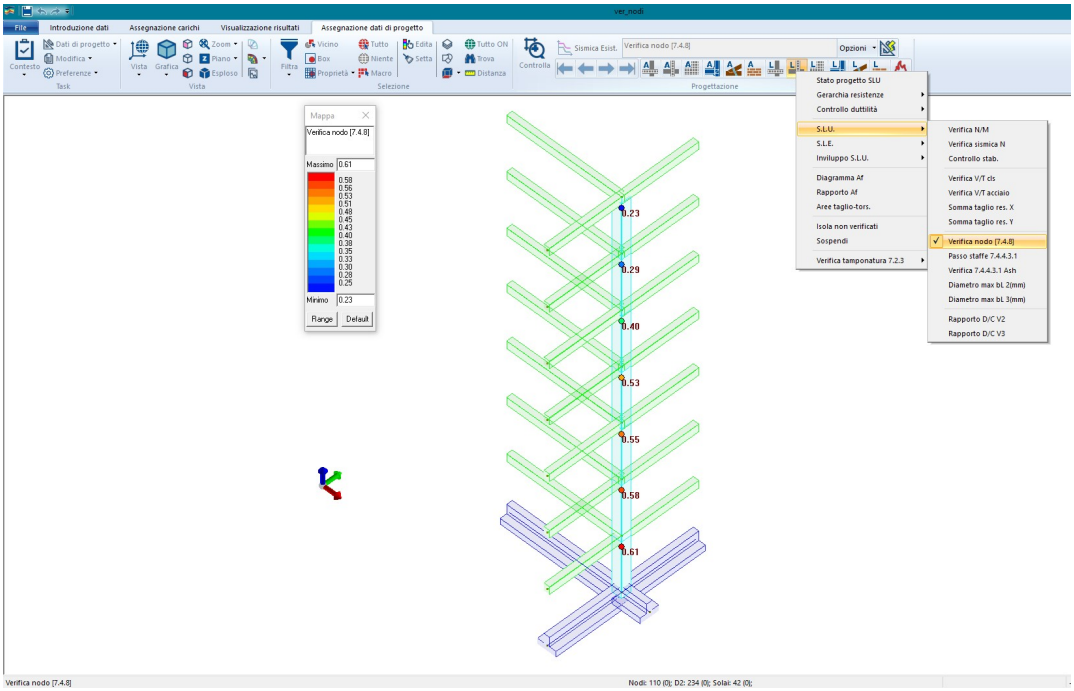


Figura 8 : Verifica 7.4.8 NTC2018

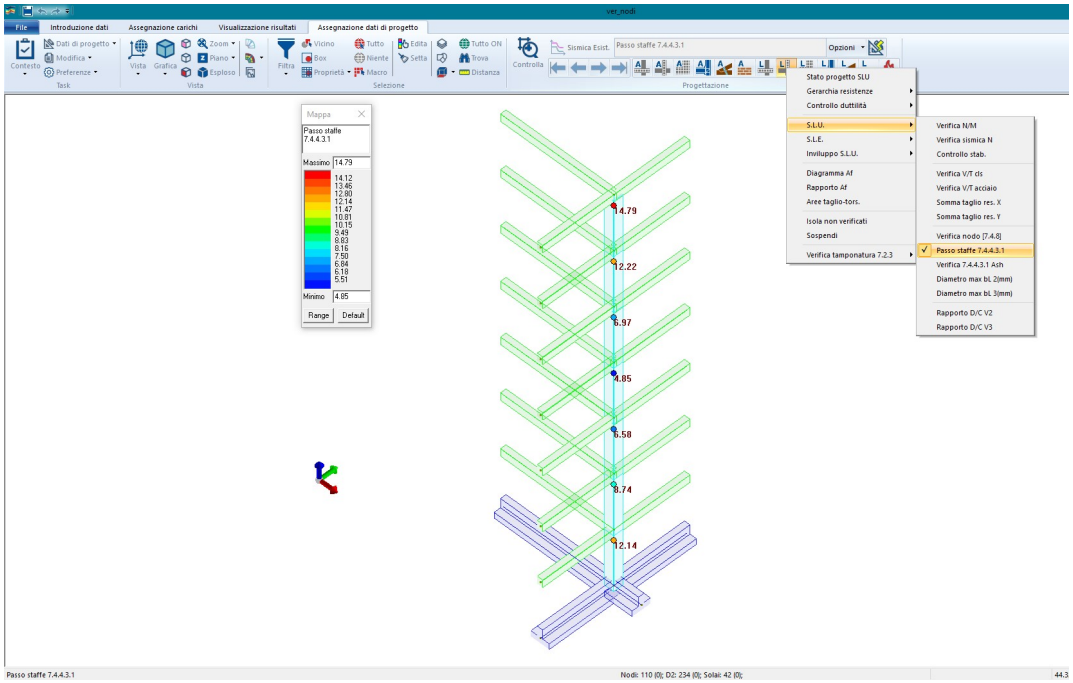


Figura 9 : Passo Staffe par 7.4.4.3.1 NTC2018

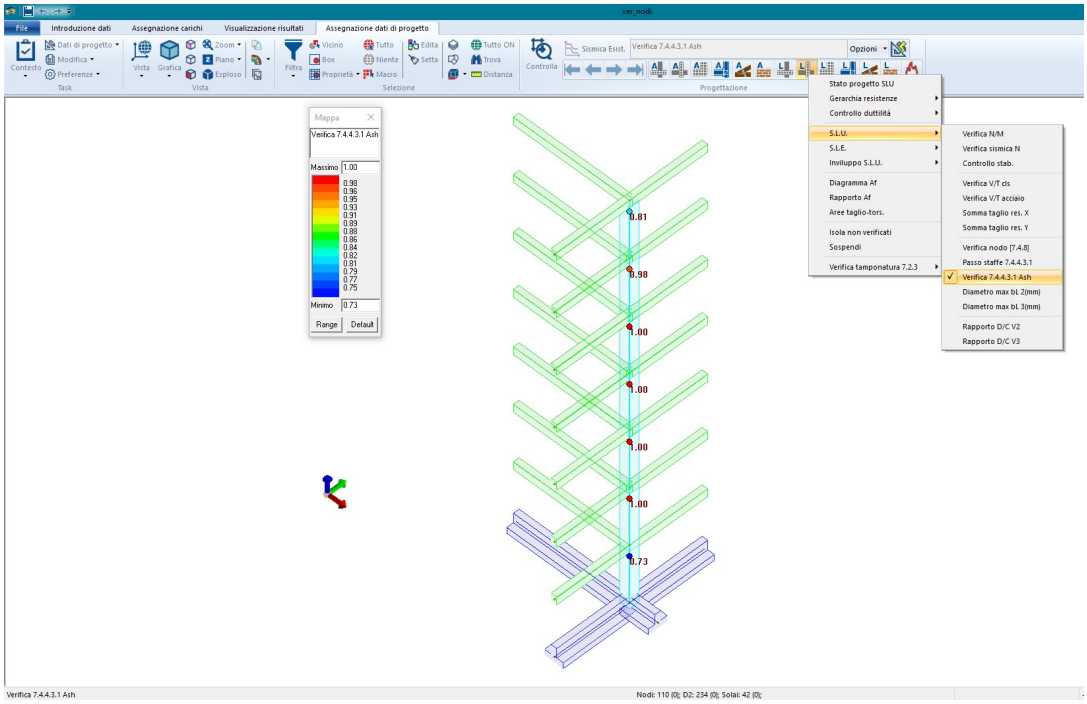


Figura 10 : Verifica A_{sh} par 7.4.4.3.1 NTC2018

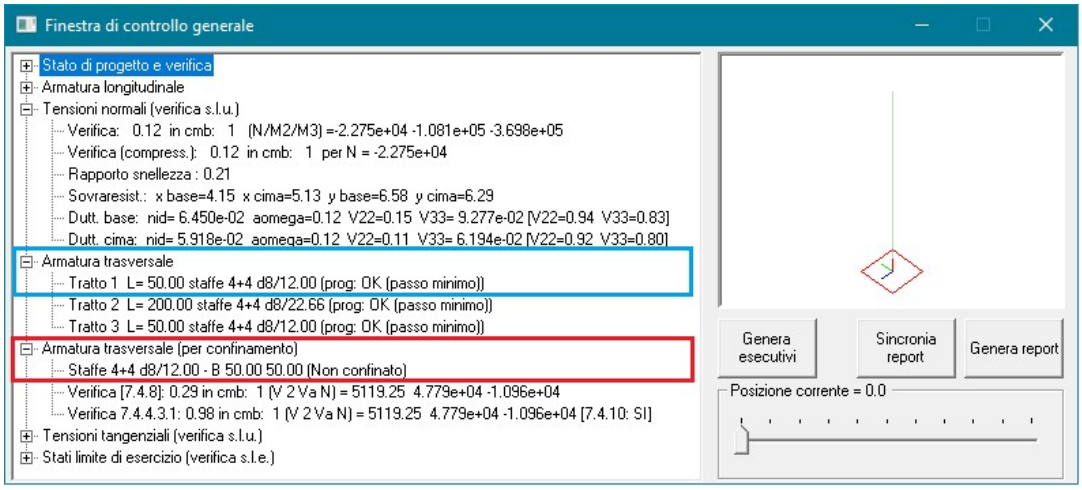


Figura 11 : Dettaglio Nodo 2

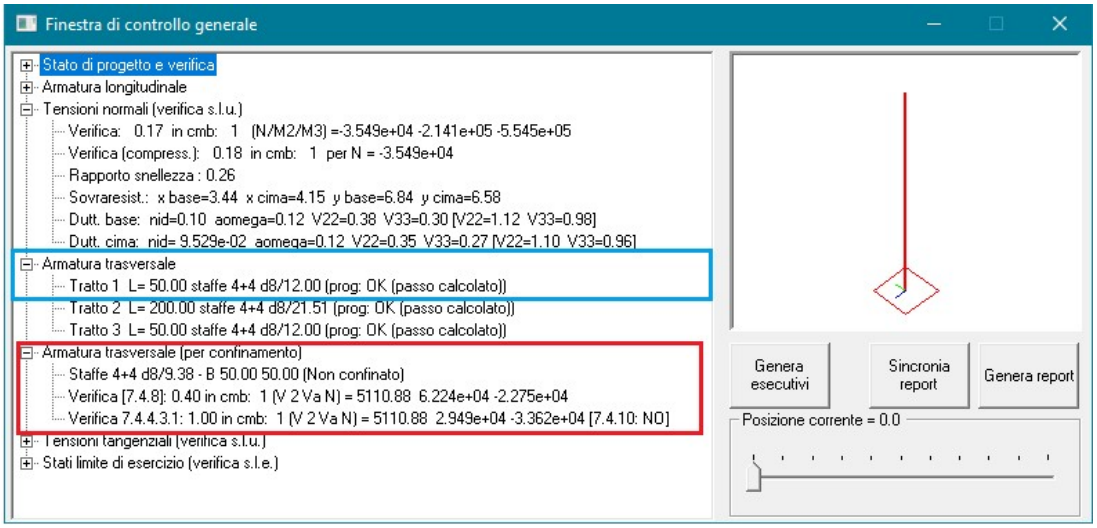


Figura 12 : Dettaglio Nodo 3

- **Tipo di confronto:**

Calcolo manuale.

- **Tabella risultati:**

$$\delta = \frac{V_{jbd}}{V_{Rbd}} \qquad V_{Rbd} = \eta f_{cd} b_j h_{jc} \sqrt{1 - \frac{v_d}{\eta}}$$

s_{min} = passo formula 7.4.10 / 7.4.12

Nodo	Verifica formula 7.4.8 Passo Staffe formula 7.4.10 / 7.4.12	Soluzione teorica	Soluzione PRO_SAP	Differenza
1	δ [-] s_{min} [cm]	0.23 14.79	0.23 14.79	0.00%
2	δ [-] s_{min} [cm]	0.29 12.22	0.29 12.22	0.00%
3	δ [-] s_{min} [cm]	0.40 9.38	0.40 9.38	0.00%
4	δ [-] s_{min} [cm]	0.53 7.09	0.53 7.09	0.00%
5	δ [-] s_{min} [cm]	0.64 7.31	0.64 7.31	0.00%
6	δ [-] s_{min} [cm]	0.68 7.47	0.68 7.47	0.00%
7	δ [-] s_{min} [cm]	0.61 12.14	0.61 12.14	0.00%

- **Commenti:**

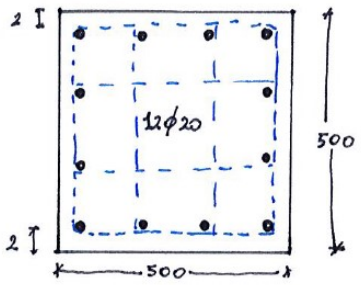
I risultati numerici sono in Perfetto accordo con quelli teorici; Se la verifica 7.4.4.3.1 risulta essere minore di 1 vale a dire che il passo staffe utilizzato nel nodo è da considerare quello proveniente dai pilastri superiore o inferiore, mentre se la verifica è pari ad 1 il passo delle staffe nel nodo utilizzate è quello relativo alle formule presenti nel paragrafo 7.4.4.3.1 (figura 11 e figura 12)

- **Allegati:**

Calcoli manuali.

DETTAGLI COSTRUTTIVI NTC 2018

NODO 2



▸ Pilastro
$b_p = 500\,mm$
$h_p = 500\,mm$
$c = 20\,mm$
staffe $\phi 8$ n° bracci 4
$\omega_{st} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50.26\,mm^2$

▸ trave
- $h_T = 400\,mm$
- $b_T = 300\,mm$
- $A_{s1} = 2\phi16 + 4\phi14 \cong 10.18\,cm^2$
- $A_{s2} = 2\phi16 + 1\phi12 \cong 5.12\,cm^2$

$R_{ck} = 30\,N/mm^2$

$f_{cd} = \alpha_c \cdot \frac{0.83 R_{ck}}{\gamma_c} = 16.6\,N/mm^2$

$\alpha_c = 1$

$f_{ctd} = \frac{0.7 \cdot 0.3}{\gamma_c}\sqrt{f_{ck}^3} = 1.194\,N/mm^2$

$f_{yk} = 450\,N/mm^2$

$f_{yd} = 391.3\,N/mm^2$

- DATI

$V_c = 511925\,N$

$N_d^+ = 1.096 \cdot 10^5\,N$ (sup. al nodo)

$N_d^- = 2.275 \cdot 10^5\,N$ (inf. al nodo)

$\gamma_{Rd} = 1.2 \qquad \alpha_j = 0.48$

- Ver. fice 7.4.8

$V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s1} \cdot f_{yd} - V_c = 426637{,}06\,N$

$V_{Rbd} = \eta \cdot f_{cd} \cdot b_j\, h_{jc} \cdot \sqrt{1 - \frac{\nu_d}{\eta}} = 1473767{,}22\,N$

$\delta = \frac{V_{jbd}}{V_{Rbd}} = 0.29$

$\eta = \alpha_j \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0.432$

$\nu_d = \frac{N_d^+}{b_p \cdot h_p \cdot f_{cd}} = 0.0264$

7.4.10) $A_{sh1} = \left\{ \frac{\left[V_{jbd}/(b_j h_{jc})\right]^2}{f_{ctd} + \nu_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} \right\} \cdot \frac{b_j h_{jw}}{f_{ywd}} = 539{,}6\,mm^2$

$f_{ywd} = f_{yd}$

$h_{jw} = h_T - 2c - 2\phi_s - \phi_L = 328\,mm$

7.4.12) $A_{sh2} = \frac{\gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd}\,(1 - 0.8\,\nu_d)}{f_{ywd}} = 587{,}455\,mm^2 \rightarrow \nu_d = \frac{N_d^-}{b_p \cdot h_p\, f_{cd}}$

$n_{sw1} = \frac{A_{sh1}}{\omega_s \cdot n_b} = 2.68 \rightarrow s_{min1} = 12.22\,cm$

$n_{sw2} = \frac{A_{sh2}}{\omega_s\, n_b} = 2.92 \rightarrow s_{min2} = 11.23\,cm$

$s_{min} = \max\{12{,}22;\ 11{,}23\}$

$s_{min} = 12.22$

Si utilizza come passo quello proveniente dai pilastri 12 cm

$K = \frac{12}{12.22} = 0.98$

NODO 3

- Geometria di trave e pilastro rimane uguale al nodo 2.

DATI

- $A_{s1} = 2\phi16 + 6\phi14 = 13.26\ cm^2$
- $A_{s2} = 2\phi16 + 2\phi12 = 6.28\ cm^2$
- $V_c = 51108.8\ N$
- $N_d^+ = 2.275 \cdot 10^5 N$
- $N_d^- = 3.362 \cdot 10^5 N$

$\gamma_{Rd} = 1.2$

$\lambda_j = 0.48$

- Verifica 7.4.8

$V_{jbd} = 5712990\ N$

$V_{Rbd} = 1421240{,}463\ N$

$\delta = V_{jbd}/V_{Rbd} = 0.40$

7.4.10 $A_{sh1} = 948.695\ mm^2$ $s_{min} = 6.97\ cm$

7.4.12 $A_{sh2} = 704.759\ mm^2$ $s_{min} = 9.38\ cm$

$s_{min} = 9.38\ cm$ passo utilizzato

TABELLA RIASSUNTIVA

NODO	VERIFICA	VALORE
1.	7.4.8	0.23
	7.4.10/7.4.12	14.79
2.	7.4.8	0.29
	7.4.10/7.4.12	12.22
3.	7.4.8	0.40
	7.4.10/7.4.12	9.38
4.	7.4.8	0.53
	7.4.10/7.4.12	7.09
5.	7.4.8	0.64
	7.4.10/7.4.12	7.31
6.	7.4.8	0.68
	7.4.10/7.4.12	7.47
7.	7.4.8	0.61
	7.4.10/7.4.12	12.14

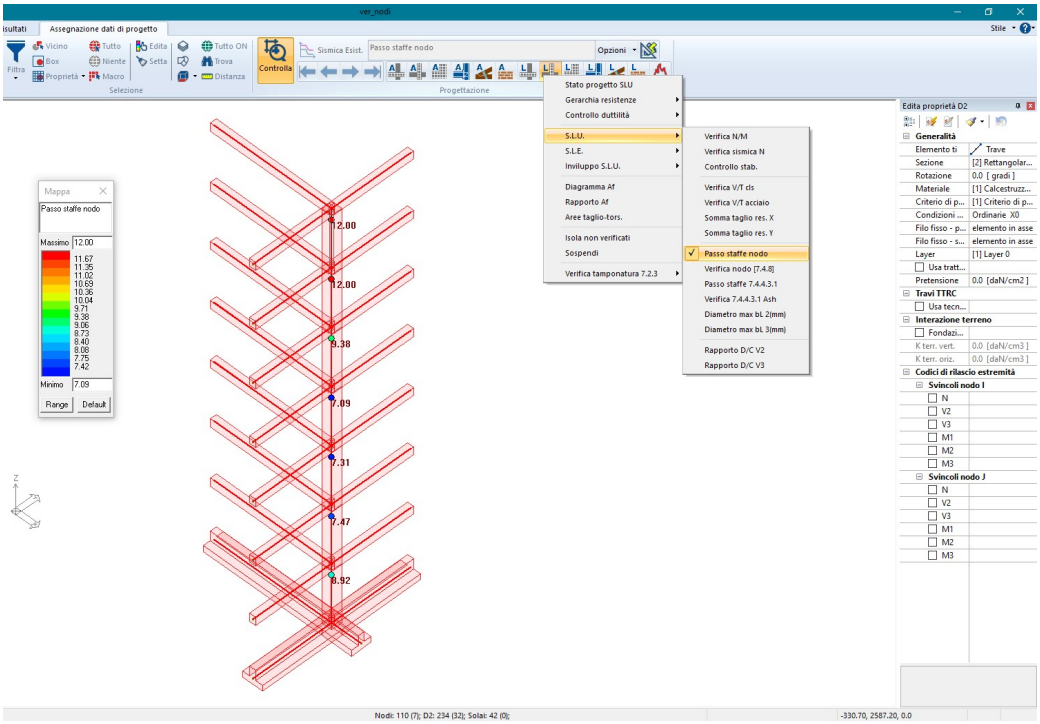


Figura 13 : Passo staffe utilizzato nel nodo