

# Verifica dei nodi NTC08 e EC8

ing. Silvestro Giordano

maggio 2015

La verifica di resistenza dei nodi può essere fatta, a seconda dei casi, come indicato nel § 7.4.4.3 NTC08, cioè come indicato nel § 5.5.3.3 EC8, oppure come indicato nel § C8.7.2.5 CNTC08

In ogni caso per verificare la resistenza di un nodo bisogna eseguire sia la verifica del puntone diagonale del calcestruzzo sia la verifica della trazione diagonale del calcestruzzo.

## Verifica puntone diagonale

La verifica del puntone diagonale del calcestruzzo può essere fatta con la formula (7.4.8) NTC08, ovvero la (5.33) EC8-1, cioè

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

in cui

$V_{jdb}$  è il taglio agente nella direzione orizzontale nel nodo.

$\eta = \alpha_j (1 - f_{ck}/250)$

ed  $\alpha_j$  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:

a) la maggiore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave;

b) la minore tra le larghezze della sezione del pilastro e della sezione della trave, ambedue aumentate di metà altezza della sezione del pilastro.

Per strutture esistenti, può essere usata la formula (8.7.2.3) CNTC08

$$\frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2} \leq 0,5 f_c \quad (2)$$

dove N indica l'azione assiale presente nel pilastro superiore,

$V_N$  indica il taglio totale agente sul nodo

$A_g$  indica la sezione orizzontale del nodo

L'EC8-3 prevede, per le strutture esistenti, l'utilizzo della (1) (§A.3.4.1 EC8-3)

Bisogna notare la (1) e la (2) sono tra di loro equivalenti, a meno di modifiche in alcuni coefficienti.

Infatti pendo:

$A = (h_{jc} \cdot b_j) =$  Area orizzontale del nodo

$v_d \approx N/(f_{cd} \cdot A)$

la (1) può essere scritta nel seguente modo

$$\left(\frac{V_{jdb}}{A}\right)^2 \leq (\eta \cdot f_{cd})^2 \cdot \left(1 - \frac{N}{\eta A f_{cd}}\right)$$

ovvero

$$\left(\frac{V_{jdb}}{A}\right)^2 \leq (\eta \cdot f_{cd})^2 - \eta \cdot f_{cd} \frac{N}{A} \quad (3)$$

La (2) può essere scritta così:

$$\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2 \leq \left(0,5 f_c - \frac{N}{2A_g}\right)^2$$

ovvero

$$\left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2 \leq (0,5 f_c)^2 - 0,5 f_c \frac{N}{A_g} \quad (4)$$

### Taglio agente

Secondo l'NTC08 al §7.4.4.3

*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:*

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

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

*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.*

Secondo La CNTC08 al § C8.7.2.5

*V<sub>n</sub> indica il taglio totale agente sul nodo, considerando sia il taglio derivante dall'azione presente nel pilastro superiore, sia quello dovuto alla **sollecitazione** di trazione presente nell'armatura longitudinale superiore della trave*

Il calcolo di  $V_{jbd}$ , indicato della NTC08, è proposto per la verifica dei nodi in CDA o CDB, cioè in struttura calcolata ipotizzando un fattore di struttura  $q > 1$ . In questo caso  $V_{jbd}$  non deve essere calcolato a partire dalle sollecitazioni ma a partire dalla resistenza delle travi, con i criteri di gerarchia di resistenza, infatti troviamo la presenza del fattore  $\gamma_{Rd}$

Sembra ovvio che per strutture analizzate con il coefficiente  $q=1$ , o mediante l'analisi pushover, in cui ad ogni passo si conoscono le reali sollecitazioni, non ha senso verificare i nodi a partire dalla resistenza delle travi, ma è possibile calcolare il taglio agente sui nodi a partire dalle sollecitazioni di calcolo.

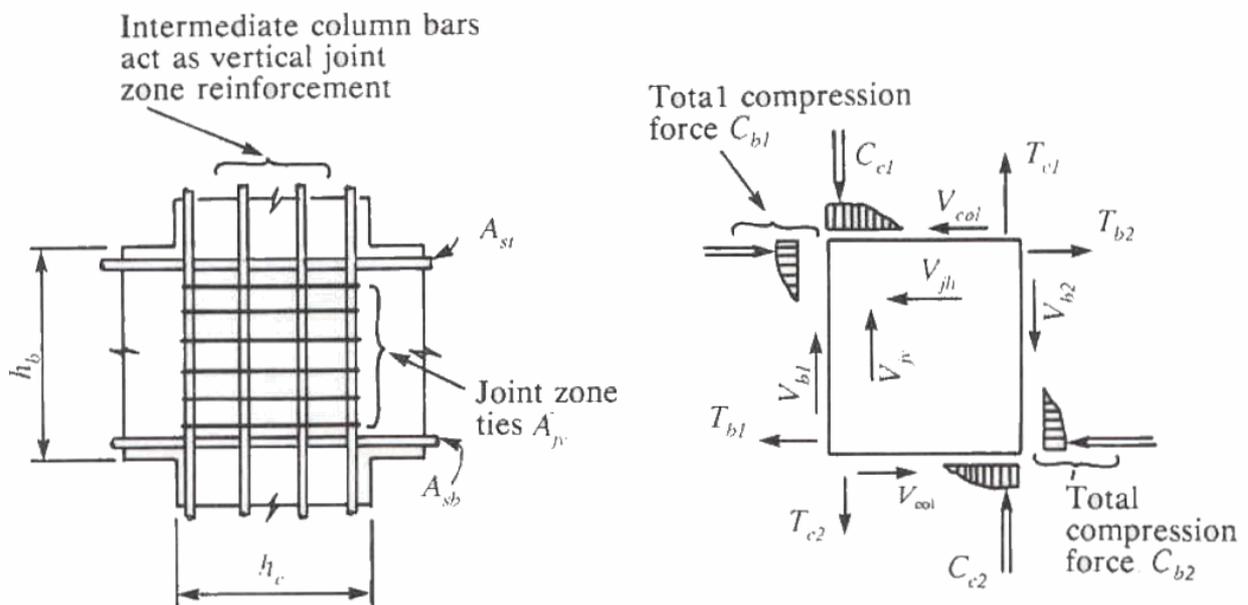
Inoltre utilizzare la (7.4.6) e la (7.4.7) in un'analisi pushover potrebbe portare al risultato assurdo di non verifiche dei nodi anche con forze orizzontali bassissime, perché il taglio agente dipenderebbe dalle armature delle travi e non dalla forza orizzontale di spinta sulla struttura.

D'altra parte le NTC08 forniscono la (7.4.6) e la (7.4.7) per strutture in CDA in assenza di più accurate valutazione e un'analisi pushover è una "più accurata valutazione".

Inoltre il C8.7.2.4, specifica che, in caso di analisi pushover per strutture esistenti, le sollecitazioni da usare per la verifica degli elementi fragili sono quelle derivanti dall'analisi strutturale, non quelle derivanti dall'equilibrio con la resistenza degli elementi duttili (Tabella C8.4)

Jasp quindi utilizza la (7.4.6) e la (7.4.7) per analisi elastiche effettuate ipotizzando il comportamento duttile della struttura ( $q > 1$ ). Jasp calcola invece il taglio a partire dalle sollecitazioni in caso di analisi elastica con  $q = 1$  e nel caso di analisi pushover in cui ad ogni passo dell'analisi sono note le sollecitazioni che agiscono sul nodo. In ogni caso il taglio agente sarà considerato non superiore a quello calcolato con la (7.4.6) e la (7.4.7).

Resta da osservare che, nei modelli su cui sono basate le formule di verifica, il taglio agente è la somma di 3 contributi: <sup>[1][2][3]</sup>



$$V_{jh} = C_{b1} + T_{b2} - V_{col}$$

dove:

$C_{b1}$  è la forza di compressione superiore esercitata dalla trave 1, che, ipotizzando la presenza del solo momento nella trave è pari alla forza presente nell'armatura inferiore della trave 1. ( $C_{b1} = T_{b1}$ )

$V_{col}$  è la forza di taglio nel pilastro al di sopra del nodo.

$T_{b2}$  è la forza di trazione superiore esercitata dalla trave 2

Dunque nell'applicare la formula (7.4.6)  $A_{s1}$  e  $A_{s2}$  sono rispettivamente l'area dell'armatura superiore di una trave e l'area dell'armatura inferiore della trave opposta.

### Verifica trazione diagonale

La verifica del puntone diagonale del calcestruzzo può essere fatta con la formula (7.4.10) NTC08, cioè

$$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jc}} \geq \frac{[V_{jdb}/(b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd} \quad (5)$$

in cui i simboli già utilizzati hanno il significato in precedenza illustrato,

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

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

$f_{ctd}$  è il valore di progetto della resistenza a trazione del calcestruzzo

$f_{ywd}$  è il valore di progetto della resistenza a trazione delle staffe

O, per strutture esistenti, può essere usata la formula (8.7.2.2) CNTC08

$$\sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2} - \frac{N}{2A_g} \leq 0,3 \sqrt{f_c} \quad (6)$$

in cui i simboli già utilizzati hanno il significato in precedenza illustrato.

La (6) è scritta partendo dalla (8.7.2.2) CNTC08 e tenendo presente che:

$$\left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2} \right| = \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2} - \frac{N}{2A_g} \quad \text{perché} \quad \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2} \geq \left| \frac{N}{2A_g} \right|$$

L'EC8-3 prevede, per le strutture esistenti, l'utilizzo della (5) (§A.3.4.1 EC8-3)

Anche in questo caso è possibile osservare che la (6) è equivalente alla (5) priva di armatura a taglio nei nodi.

Se consideriamo le staffe nei nodi sono assenti e poniamo

$A = (h_{jc} \cdot b_j) =$  Area orizzontale del nodo

$v_d \approx N/(f_{cd} \cdot A)$

la (5) può essere scritta nel seguente modo:

$$\frac{[V_{jdb}/A]^2}{f_{ctd} + \frac{N \cdot f_{cd}}{A \cdot f_{cd}}} \leq f_{ctd}$$

cioè

$$\left(\frac{V_{jdb}}{A}\right)^2 \leq f_{ctd}^2 + f_{ctd} \frac{N}{A} \quad (7)$$

La (6) può essere scritta così:

$$\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2 \leq \left(0,3\sqrt{f_c} + \frac{N}{2A_g}\right)^2$$

ovvero

$$\left(\frac{V_N}{A_g}\right)^2 \leq (0,3\sqrt{f_c})^2 + 0,3\sqrt{f_c}\frac{N}{A_g} \quad (8)$$

In alternativa alla (5) le NTC08 e l'EC8 indicano che l'integrità del nodo a seguito della fessurazione diagonale può essere garantita integralmente dalle staffe orizzontali se:

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

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

dove:

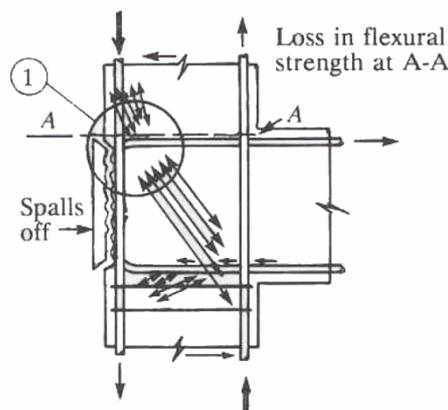
$A_{s1}$  ed  $A_{s2}$  hanno il significato visto in precedenza,

$\gamma_{Rd}$  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.

Anche in questo caso le formule (7.4.11) e (7.4.12) sono applicate in questo modo in caso di analisi elastiche con fattore di struttura  $q > 1$ .

Nel caso di analisi elastiche con  $q=1$  e nel caso dell'analisi pushover invece che  $\gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd}$  Jasp utilizza la forza effettivamente presente nelle barre di acciaio.

Nella formula (7.4.12) compare l'armatura inferiore perché la forza che governa il taglio orizzontale del traliccio, per i nodi esterni, è la forza trasferita per aderenza lungo la parte di barre inferiori al di fuori del puntone.<sup>[1]</sup>



[1] M.N Fardis ed altri **Guida all'Eurocodice 8** EPC Editore 2001, §5.7.5 pag 154

[3] M. Mezzina ed altri **Progettazione Sismo-Resistente Di Edifici In Cemento Armato** CittaStudi Ed. 2011, §9.6.1 pag 449

[2] A.Gherzi P.Lenza **Edifici antisismici in cemento armato** Dario Flaccovio Editore 2009, §7.8 pag 212