

# Il progetto e la verifica dei nodi degli edifici in cemento armato in zona sismica

[Namirial](#)

## Aspetti normativi

### NTC2018 e Circolare n.7/2019

Nelle NTC2018 la verifica dei nodi di edifici nuovi è trattata al §7.4.4.3. I nodi vengono distinti in *interamente confinati* e *non interamente confinati* e nell'ottica della gerarchia delle resistenze la progettazione si pone come obiettivo di evitare una rottura anticipata del nodo rispetto alle travi e ai pilastri che concorrono in esso. La *domanda a taglio in direzione orizzontale* deve essere inferiore alla *capacità a taglio del nodo*.

Per la definizione della *domanda a taglio in direzione orizzontale*, "in assenza di più accurate valutazioni" si fa riferimento alla resistenza a flessione delle travi che concorrono nel nodo, applicando un criterio di gerarchia delle resistenze. I nodi vengono distinti in *nodi interni* e *nodi esterni* e nelle equazioni 7.4.6 e 7.4.7 entrano in gioco il fattore di sovrarresistenza (distinto per classe di duttilità alta o bassa), le aree dell'armatura inferiore e superiore della trave, la resistenza di progetto dell'acciaio, la forza di taglio nel pilastro al di sopra del nodo in condizioni sismiche.

Per il calcolo della *capacità* si fa riferimento a due schemi: il primo con nodo non fessurato in cui le tensioni principali di compressione e trazione del calcestruzzo rimangono al di sotto delle rispettive resistenze; quella a compressione deve essere valutata nella condizione di presenza di deformazione di trazione trasversale; quella a trazione può essere affidata a un confinamento operato da staffe in modo che la trazione del calcestruzzo non ecceda la rispettiva resistenza di progetto; il secondo schema prevede la possibilità di fessurazione del nodo con meccanismo resistente formato da un puntone di calcestruzzo diagonale compresso che sopporta una parte del taglio trasmesso dalle barre d'armatura delle travi ( $0,8 v_d$ ); la rimanente parte è affidata interamente alla resistenza delle staffe. In caso di nodo fessurato in una direzione, è consigliabile considerare lo stato fessurato anche per l'altra direzione.

Le formule delle NTC2018 richiamate sopra sono di facile applicazione per geometrie rettangolari, per travi e pilastri con assi principali di inerzia paralleli tra loro e le cui direzioni formano tra loro angoli multipli di  $90^\circ$ , per sezioni delle travi identiche su entrambe le facce del pilastro. Però, nei casi pratici, ben più complessi di quelli trattati dalla norma, il progettista è spesso chiamato ad assumere specifiche ipotesi di base pur mantenendo il significato fisico del modello di calcolo alla base delle formulazioni normative.

#### Namirial S.p.A.

Sede legale, direzione, amministrazione,  
sviluppo, area commerciale e assistenza  
60019 Senigallia (AN)  
Via Caduti sul Lavoro, 4  
Tel. +39.071.205380  
Fax +39.199.401027

#### Unità locale MODICA

Sviluppo, area commerciale e assistenza  
97015 Modica (RG)  
Via Sacro Cuore, 114/C  
Tel. +39.0932.763691  
Fax +39.199.401027

#### Unità locale REGGIO EMILIA

Sviluppo e assistenza Software Strutturale  
42124 Reggio Emilia (RE)  
Via Meuccio Ruini, 6  
Tel. +39.0522.1873995  
Fax +39.199.401027

#### Unità locale SANTA GIUSTINA

Sviluppo, commerciale e assistenza  
Software Strato  
32035 Santa Giustina (BL)  
Via Casabellata, 30  
Tel. +39.0437.880126  
Fax +39.199.401027



La Circolare n.7/2019 al §C.7.4.4.3 riporta alcuni chiarimenti in merito ed in particolare specifica che le verifiche di resistenza indicate nel corrispondente paragrafo delle NTC si applicano agli edifici in classe di duttilità “A” e per i nodi non interamente confinati degli edifici in classe di duttilità “B”, mentre non si applicano per le strutture a comportamento non dissipativo. Nella stessa circolare è riportato uno schema utile a definire la larghezza effettiva del nodo e viene indicato un valore del coefficiente  $a_j = 0,48 * f_{ck,c}/f_{ck} \leq 0.6$  che tiene conto del confinamento del calcestruzzo, se presente, applicabile per nodi esterni. In questo caso occorre tener conto del solo volume effettivamente confinato, che di norma è inferiore a quello considerato nella verifica del nodo non confinato.

Nella Circolare viene comunque ribadita l'importanza della verifica del nodo, indipendentemente dal comportamento strutturale adottato, sottolineando che le sollecitazioni all'interno del nodo non possono essere determinate direttamente dal modello di calcolo.

Nel caso di edifici esistenti le NTC2018 al capitolo 8 non fanno cenno alla verifica dei nodi, mentre la Circolare n.9/2019 al §C8.7.2.3.5 fornisce dei chiarimenti specificando in primo luogo che le verifiche dei nodi vanno eseguite solo per quelli non interamente confinati, indicando criteri di verifica basati sulla valutazione delle tensioni principali nel calcestruzzo del nucleo. Non vengono date indicazioni esplicite su come valutare la domanda di taglio all'interno del nodo, ricordando genericamente che è ottenuta come somma algebrica del taglio trasmesso dal pilastro superiore e degli sforzi orizzontali trasmessi dalle parti superiori delle travi.

Un problema che si pone è quindi come valutare la domanda di taglio  $V_j$  quando le indicazioni delle NTC2018 non si applicano. In analogia a quanto si fa per i nodi degli edifici esistenti, in cui non si applica la gerarchia delle resistenze, si può pensare di usare le sollecitazioni agenti, in base al modello di calcolo adottato. Occorre anteporre alcune considerazioni:

1. si è appena richiamata l'indicazione della Circolare in cui si ricorda che il solo modello di calcolo non è sufficiente a determinare le azioni nel nodo;
2. al §7.2.2 delle NTC2018, si afferma che “La domanda di resistenza valutata con i criteri della progettazione in capacità può essere assunta non superiore alla domanda di resistenza valutata per il caso di comportamento strutturale non dissipativo”.
3. nella verifica di meccanismi fragili, in caso di analisi sismica con spettro di risposta e fattore di comportamento  $q$ , è necessario utilizzare per esso un valore massimo pari a 1.5, che corrisponde a considerare un comportamento non dissipativo;

Si potrebbe quindi affermare che, ad esempio, in un edificio in classe di duttilità “B”, per nodi interni, l'uso delle sollecitazioni derivate da un calcolo secondo un'analisi modale lineare con spettro di progetto che tiene conto di un fattore di comportamento  $q > 1,5$  potrebbe fornire risultati a sfavore di sicurezza, mentre le sollecitazioni valutate per comportamento non dissipativo secondo la [7.3.2] potrebbero essere usate, come valore di calcolo per le domande di taglio sul nodo.



Anche solo appoggiandosi alle indicazioni fornite dalle NTC2018, si possono ipotizzare tre soluzioni di verifica nei casi di cui al §7.4.4.3 della Circolare n.9/2019, che, ricordiamo, riguardano i nodi in strutture con comportamento non dissipativo e i nodi interamente confinati nelle strutture in classe di duttilità “B”:

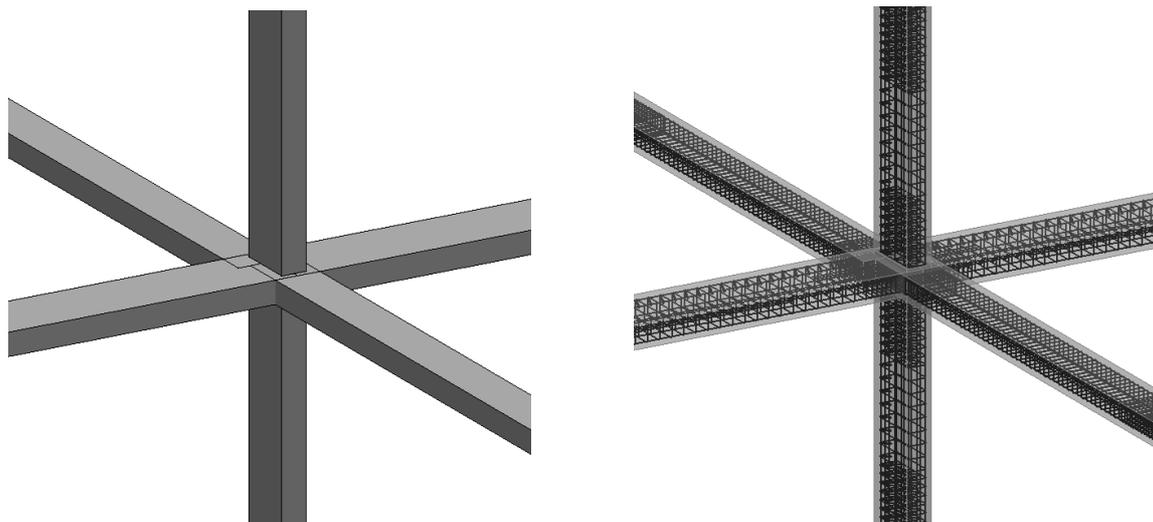
1. applicazione degli stessi criteri esposti nel paragrafo §7.4.4.3: costituisce sicuramente un’ipotesi molto prudente e che potrebbe portare a sovradimensionamenti notevoli delle strutture;
2. calcolo con le sollecitazioni agenti in condizioni di struttura non dissipativa: le sollecitazioni del modello di calcolo sono corrette aumentando le azioni sismiche in ragione di un coefficiente di comportamento  $q \leq 1,5$  calcolato come per una struttura non dissipativa ricorrendo alla [7.3.2];
3. applicazione delle regole di dettaglio costruttivo, seguendo le indicazioni delle UNI EN 1998-1:2005 § 5.4.3.3, analoghe alla [7.4.29] delle NTC 2018.

## Esempi pratici

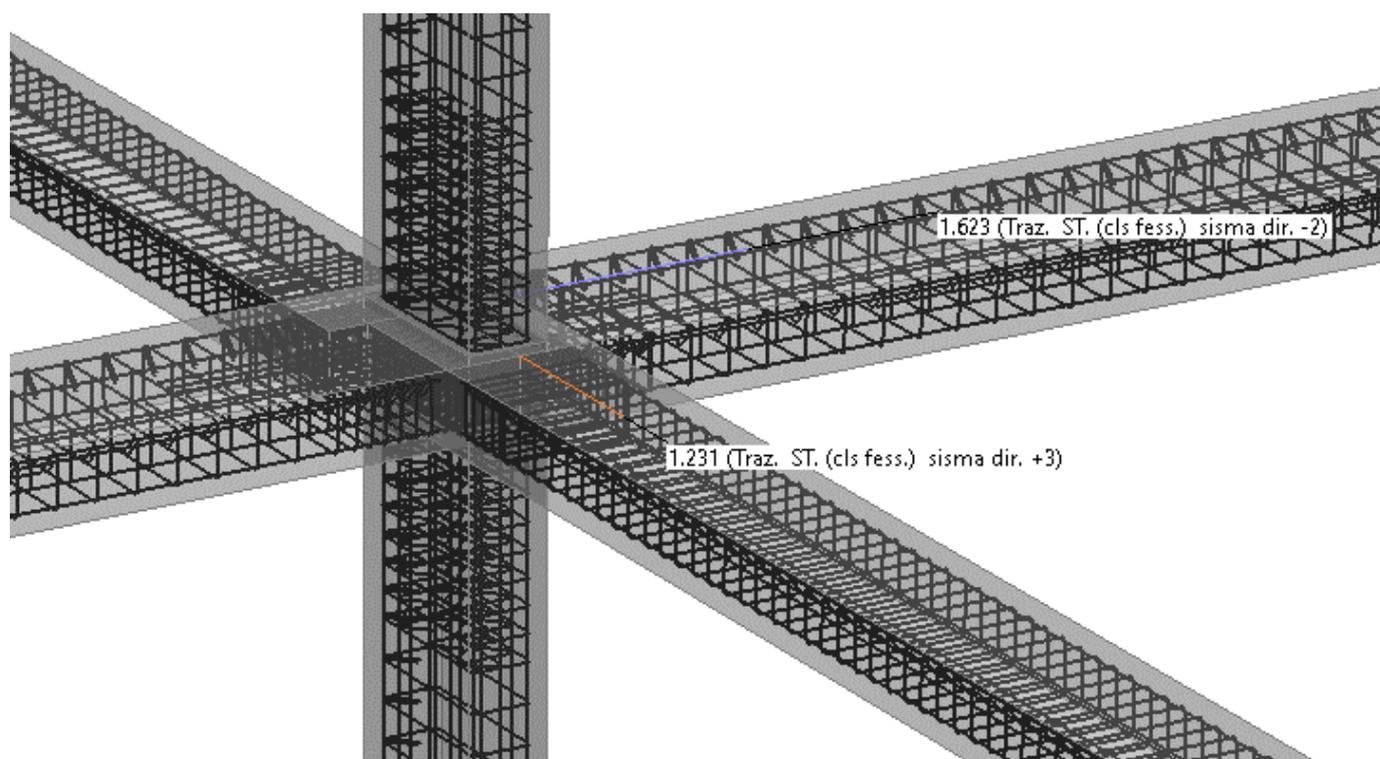
A seguito delle considerazioni riportate sopra, nel [software CMP Analisi Strutturale](#) sono state introdotte alcune opzioni di verifica per i nodi degli edifici in cemento armato in zona sismica. In questo modo, il progettista, che è spesso chiamato ad assumere specifiche ipotesi, pur mantenendo il significato fisico del modello di calcolo alla base delle formulazioni normative, dispone di strumenti utili a verificare e comprendere il funzionamento dei nodi trave-pilastro. Aspetto non trascurabile visto che nella pratica i nodi degli edifici in cemento armato in zona sismica sono diventati uno degli elementi strutturali, se non il principale, che maggiormente condizionano il dimensionamento e la progettazione delle strutture.

Pertanto, il dataset di impostazione delle verifiche dei nodi proposto da CMP mette a disposizione diverse opzioni per il caso di nodi in strutture con comportamento non dissipativo e di nodi interamente confinati nelle strutture in classe di duttilità “B”. Si può non eseguire la verifica ricorrendo unicamente al rispetto dei minimi normativi come da UNI EN 1998-1:2005 § 5.4.3.3, si possono eseguire le verifiche come per il caso di nodi confinati in CD”A” oppure è possibile utilizzare le sollecitazioni di calcolo effettive ricorrendo ad un opportuno fattore di comportamento  $q$ .

Le immagini riportate di seguito sono una rappresentazione sintetica della verifica eseguita su un nodo interno interamente confinato di una struttura intelaiata in c.a. modellata e analizzata con il software di analisi strutturale CMP. Confrontando i coefficienti di sfruttamento derivanti dalle verifiche è possibile constatare come gli stessi variano sensibilmente a seconda del criterio di verifica adottato.

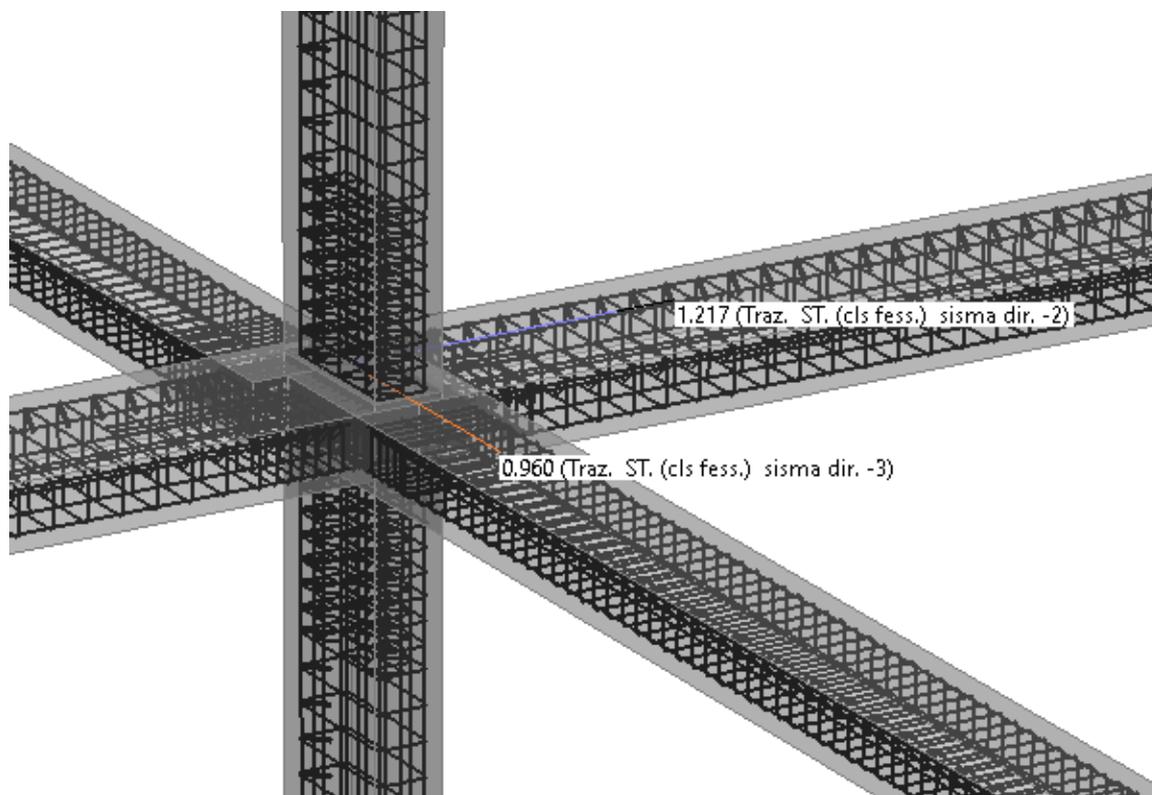


Verifica eseguita come per il caso di nodo confinato in CD''A'': coefficiente di sfruttamento massimo pari a 1,623.



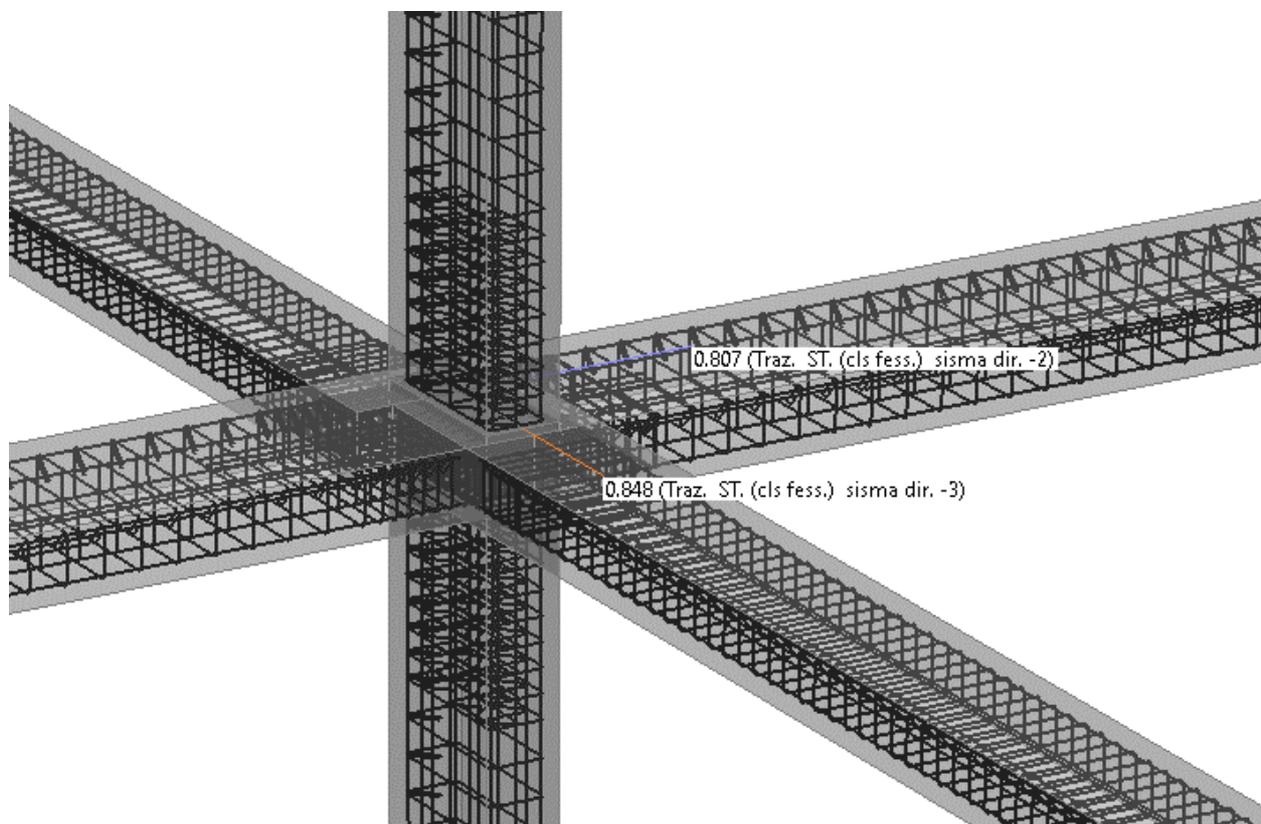


Verifica eseguita con sollecitazioni di calcolo relative ad un fattore di comportamento  $q=1,00$ :  
coefficiente di sfruttamento massimo pari a 1,217.





Verifica eseguita con sollecitazioni di calcolo relative ad un fattore di comportamento  $q=1,50$ :  
coefficiente di sfruttamento massimo pari a 0,848.



[Scopri tutti i dettagli su CMP Analisi Strutturale](#)