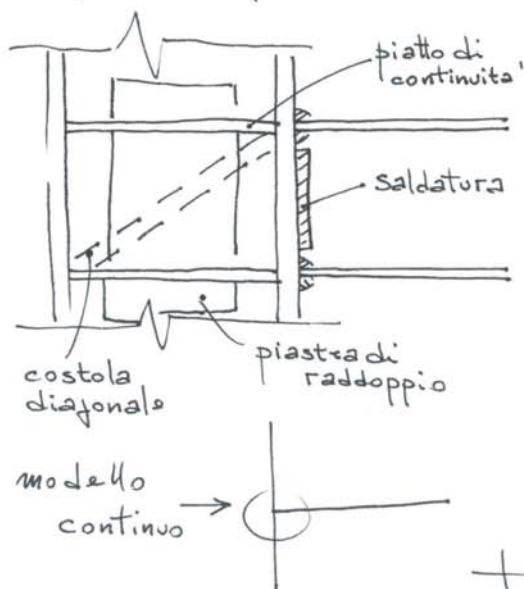


Cenni sui collegamenti semirigidi

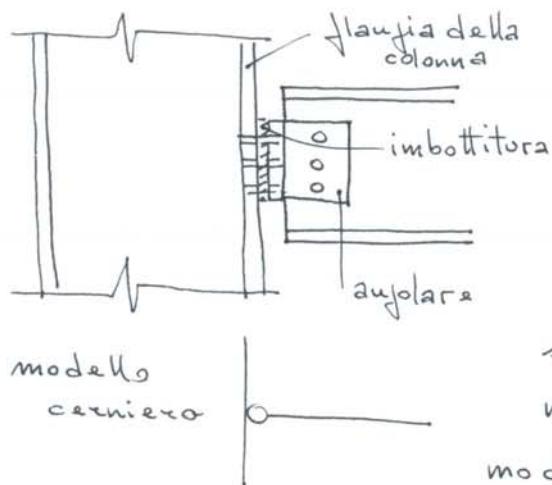
Il calcolo dei collegamenti in acciaio viene generalmente compiuto basandosi sull'ipotesi di monoliticita' tra gli elementi collegati, supponendo che tra trave e colonna non possa presentarsi alcuna rotazione relativa. Nel caso, invece, in cui la trave ha un funzionamento di natura pendolare, si suppone libera tale rotazione relativa, supponendo che l'unione sia in grado di trasferire solo taglio.

La prima ipotesi risulta molto prossima alla situazione



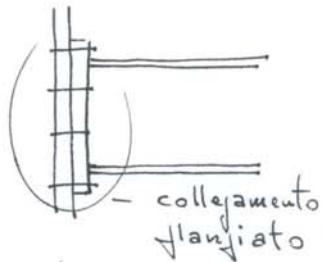
reale nel momento in cui la colonna sia dotata di piatti di continuita' disposti in corrispondenza delle ali delle travi, piastre di raddoppio sull'anima della colonna ovvero costole d'anima diagonali, e il collegamento sia realizzato mediante saldatura.

L'altra ipotesi, che descrive un comportamento di tipo duale, si presenta come affine alla reale nel caso di collegamento bullonato tra la sola anima della colonna e la flangia (l'ala) della colonna a mezzo di due anelli (uno per lato della trave).



Nella realtà, tuttavia, le due situazioni presentate sono da intendersi come delle situazioni limite, in realtà alcune modalità di collegamento conferiscono un comportamento al nodo che è "non adeguatamente" modellato dai due schemi finora presentati (è il caso di un collegamento flangiato ovvero uno realizzato con augolari d'anima e d'ala per la trave, senza che la colonna presenti alcun irrigidimento d'anima).

In tal caso si parlerà di nodo trave-colonna semirigido, il cui comportamento sarà caratterizzato dalle proprietà della molla rotazionale. Quest'ultima in campo elastica può essere descritta completamente attraverso il solo parametro della rigidezza, in generale dovrà essere fornito il legame



M
modello continuo
modello semirigido
modello cerniera

tra momento e rotazione che una determina per il nodo.

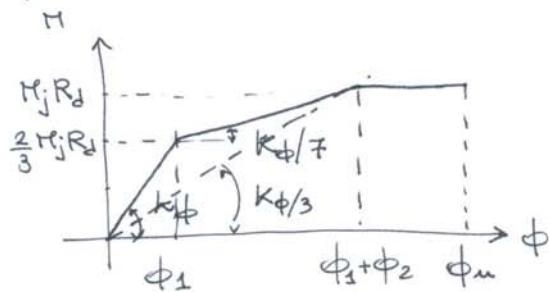
ϕ

Nel proseguo lasceremo in disparte tutti i problemi di analisi strutturale che la modellazione di un nodo, di un telaio, come semirigido introduce, limitandoci alla sola analisi del collegamento.



(2)

La prima domanda da farsi in tal senso è: che tipo di legame $\Theta-\phi$ utilizzare per un nodo semirigido. La risposta è da ricercare nell'ambito normativo, in particolare l'Euro Codice 3 propone la seguente modellazione:



$M_j R_d$ = resistenza di progetto del collegamento

$\frac{2}{3} M_j R_d$ = prima soglia di plasticizzazione

k_ϕ = rigidezza rotazionale iniziale del collegamento

E' semplice dimostrare

che la rigidezza secante in corrispondenza

del punto in cui si raggiunge il momento massimo è

" $k_\phi/3$ ":

$$\phi_1 = \frac{\frac{2}{3} M_j R_d}{k_\phi} \quad \phi_2 = \frac{\frac{1}{3} M_j R_d}{k_\phi/7} \quad \text{da cui:}$$

$$\phi_1 + \phi_2 = \left(\frac{\frac{2}{3} + \frac{1}{3}}{k_\phi} \right) \frac{M_j R_d}{k_\phi} = \frac{M_j R_d}{\frac{k_\phi}{3}} \quad \text{rigidezza secante cercata.}$$

L'Euro Codice 3 consente di analizzare il comportamento di nodi semirigidi di mediante analisi lineare che utilizza la rigidezza secante $k_\phi/3$. In tale ipotesi semplificativa un telaio con nodi semirigidi di ϕ_0 può essere studiato considerando la presenza di molle rotazionali di rigidezza nota (il che comporta una banale manipolazione della matrice di rigidezza del sistema), salvo verificare a calcolo avvenuta che il mo-

(3)

mento trasferito dal collegamento sia minore di quello di progetto $M_{j,Rd}$.

Fino a questo punto abbiamo fornito un'idea solo qualitativa, basata su osservazioni di natura fisica, relativamente all'opportunità o meno di utilizzare il modello semicidio. In un ambito di carattere progettuale e di verifica, tali idee sono formalizzate.

A tal fine risulta utile ritornare sulla classificazione dei nodi in base alla rigidità (classificazioni diverse chiamano in causa la resistenza e la duttilità), in particolare introduciamo le seguenti quantità:

$$\underline{\Phi} = \frac{K_f L}{EI_b} \quad \begin{array}{l} \text{(rapporto tra rigidità del collegamento } K_f \text{ e quello della trave } \\ EI_b/L \end{array}$$

parametro di rigidità

$$\underline{m} = \frac{M_{j,Rd}}{M_{b,Rd}} \quad \begin{array}{l} \text{(rapporto tra resistenza flessionale} \\ \text{del collegamento e l'analogia quantità} \\ \text{per la trave}) \end{array}$$

parametro di resistenza

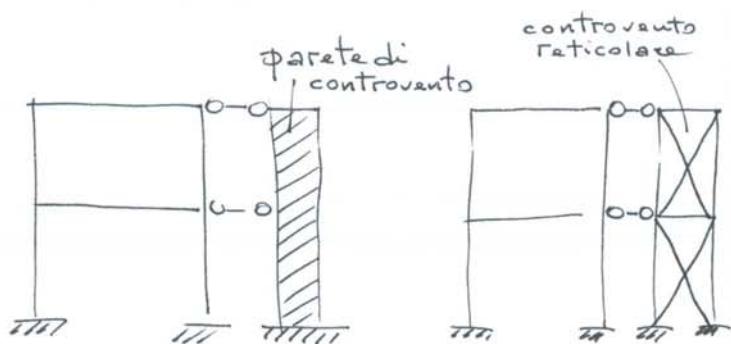
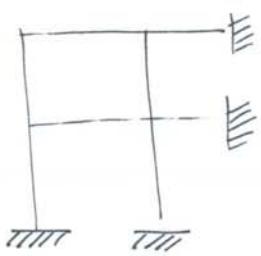
$$\underline{\Theta} = \frac{\phi}{\frac{M_{b,Rd} L}{EI_b}} \quad \begin{array}{l} \text{(rotazione relativa trave-colonna} \\ \text{espressa in termini adimensionali} \\ \text{rispetto alle proprietà della trave}) \end{array}$$

parametro di deformazione

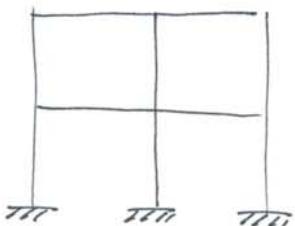
Di fini dell'analisi una qualsiasi classificazione, inoltre, non puo' prescindere dalle caratteristiche del telaio cui il nodo appartiene, ed in particolare occorre distinguere tra telai a nodi fissi e spostabili:

(4)

- Telai a nodi fissi



- Telai a nodi spostabili



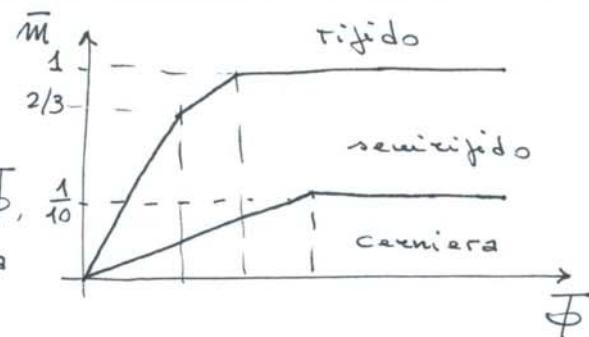
braced frames
(telai controventati)

Tali telai pur non essendo teoricamente a nodi fissi, possono considerarsi tali nell'ambito dei fini del presente studio in relazione al valore molto limitato degli spostamenti cui sono soggetti.

Appare evidente come l'influenza del comportamento rotazionale dei collegamenti sulla risposta strutturale globale sia diversa nel caso in cui il nodo sia presente in un telaio a nodi fissi o spostabili, dunque anche il criterio per scegliere se un nodo è da considerarsi come semirigido o meno, varia in base alla tipologia del telaio. Vediamo cosa dice l'Eurocodice 3 in merito ai due casi in analisi:

- Telai a nodi spostabili

Si individuano tre zone nell'ambito del legame fra le flessionee adimensionali $\bar{M}-\bar{\phi}$, se il legame del nodo occupa una certa zona, può essere modellato in base alla classificazione in figura. (5)



Una classificazione più immediata è quella basata sul solo parametro di rigidezza:

si può, infatti, dimostrare che con collegamenti avuti $K \geq 25$ la perdita di resistenza laterale della struttura è nell'ordine dell'1-2%. E' possibile, dunque, trascurarla e considerare il collegamento come rigido, anche in ragione del fatto che il modellare il comportamento del nodo in maniera semirigida determina una limitata influenza anche sul valore critico dei carichi verticali.

- Telai a nodi fissi

Valgono tutte le considerazioni compiute per il caso precedente, salvo la naturale riduzione dei valori limiti, in conformità con la minore sensibilità di questi telai nei confronti delle rotazioni ai nodi

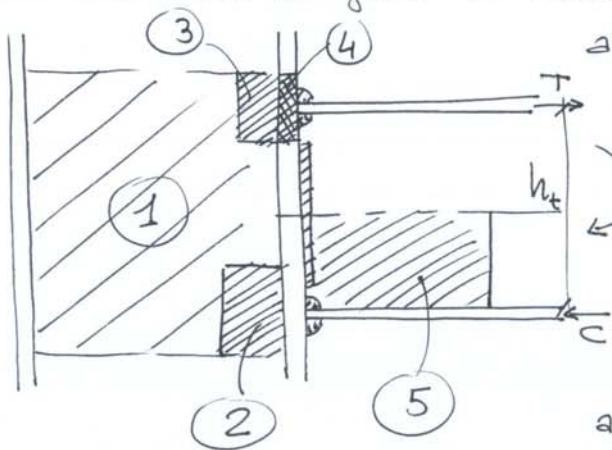
$$\begin{cases} K \geq 8 & \rightarrow \text{nodo rigido} \\ 0.5 \leq K \leq 8 & \rightarrow \text{nodo semirigido} \\ K \leq 0.5 & \rightarrow \text{nodo cerniera} \end{cases}$$

Tutto il discorso fin qui fatto si basa sull'ipotesi di conoscere il comportamento del collegamento in termini di rapporto resistenza-rotazione. Allo stato attuale è possibile, attraverso un metodo detto "delle componenti" valutare i termini k_{ϕ} ed $\Phi_{i,Rd}$ per le principali tipologie di nodo trave-colonna.

(6)

Tale metodo è codificato in maniera completa nell' "annesso j" dell'Euro Codice 3. L'idea è quella di individuare preventivamente tutte le sorgenti di deformazione del collegamento, in altre parole è come se si cercasse di scomporre il collegamento in una serie di singoli elementi (le "componenti" appunto) ognuno dei quali caratterizzato da un proprio legame forza-spostamento. La deformabilità complessiva del collegamento si otterrà attraverso un'opportuna combinazione delle deformabilità traslazionali delle componenti, al contrario della resistenza del nodo, che sarà dettata dalla componente più debole.

Per chiarire meglio le idee si ci riferisce' da ora



al collegamento saldato

in figura a lato.

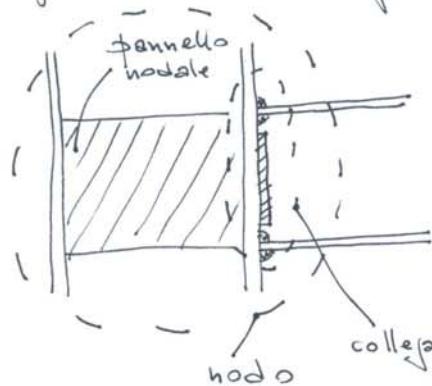
Supponiamo che il nodo in questione sia soggetto a momento flettente, e, quindi, ad una forza di trazione e compressione pensate concentrate in corrispondenza delle ali della trave.

In una situazione del genere è possibile individuare 5 zone con significativo contributo alla deformabilità del nodo:

(*)

Zona 1: Comprende il pannello nodale, ovvero l'anima della colonna che risulta sollecitata a taglio.

E' opportuno in questa sede chiarire la distinzione che esiste tra nodo e collegamento. Il collegamento è costituito dagli elementi che fisicamente realizzano la connessione, mentre



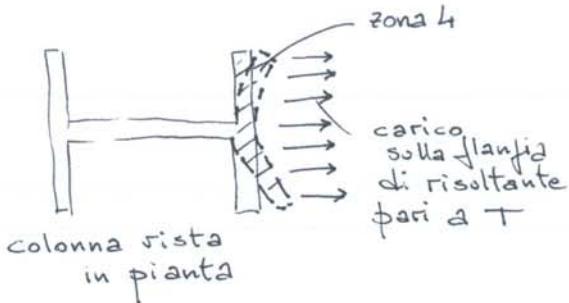
per "nodo" si deve intendere l'insieme tra collegamento e la zona che con esso interagisce, la quale comprende anche quello che chiamiamo pannello nodale.

Zona 2: Comprende una porzione dell'anima della colonna a ridosso della flangia che risulta essere sollecitata a compressione.

Si comincia a comprendere come progettare, per esempio, un collegamento saldato non vuol dire progettare i soli cordoni di saldatura, ma effettuare anche delle considerazioni di carattere locale, che tengano conto di come le sollecitazioni si trasmettano nell'ambito del nodo, il che avviene in genere attraverso azioni concentrate che determinano plasticizzazioni.

Zona 3: Comprende una porzione dell'anima della colonna a ridosso della flangia che risulta essere sollecitata a trazione

Zona 4: E' costituita dalla flangia della colonna nella zona in cui questa è sollecitata a trazione



A causa della forza T dorata al momento, la flangia tende a deformarsi "a flessione" fuori dal proprio piano.

Zona 5 : Comprende una porzione dell'anima della trave a ridosso della colonna, in particolare quella soggetta a compressione.

La flangia compresa della trave, infatti, puo' instabilizzarsi e per continuita' geometrica tendera' a trascinarsi in tale meccanismo anche l'anima a ridosso.

Qualche considerazione sulle componenti considerate: come mai la saldatura non è da considerarsi una "componente"?

I motivi sono generalmente due:

- in relazione alla rigidità rotazionale, la saldatura, in virtù delle sue limitate dimensioni, gioca un ruolo trascurabile nella raffutazione della deformabilità dell'intero nodo
- in relazione alla resistenza, rispetto alla quale il ruolo della saldatura è, invece, cruciale, si fa per assunto che esse siano progettate a completo ripristino di resistenza. Infatti la rottura dei cordoni di saldatura è sempre da evitare trattandosi di una rottura di tipo "fragile", per cui la resistenza di progetto della saldatura deve rispettare la relazione:

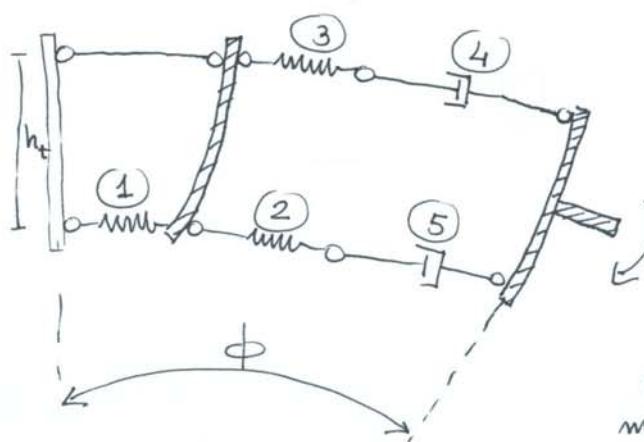
$$(F_{w,R_d}) \neq b_{fb} \cdot t_{fb} \cdot (\frac{f_y}{f_H}) \cdot \text{tensione di snervamento della trave}$$

resistenza di progetto della saldatura area della flangia della trave coefficiente di sicurezza parziale

(9)

L'idea che sta a mente è quella che la saldatura non si deve compiere nel momento in cui si plasticizza la flangia della trave collegata.

Ora osserviamo le 5 componenti che si sono definite, c'è da fare un'importante distinzione nell'ambito del ruolo che esse hanno sotto un duplice aspetto: contributo alla rigidità, contributo alla resistenza. In relazione a quest'ultima voce appare immediato come il collasso di una qualsiasi delle 5 zone, determini il collasso del nodo, per cui tutte le componenti sono da considerarsi in relazione a tale proprietà. A differenza di ciò è plausibile supporre che i fenomeni di instabilità nelle flangie non chiamino in causa la deformabilità rotazionale nel nodo, per cui

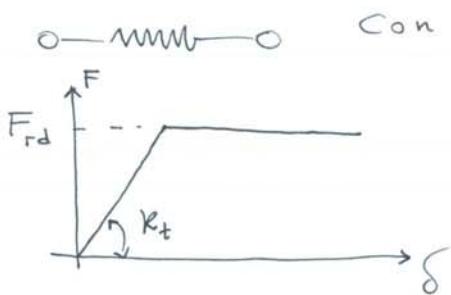


Modello meccanico del nodo semirigido in analisi

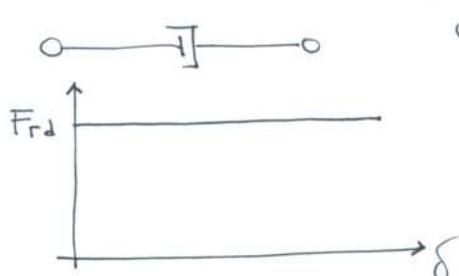
si può supporre nullo in termini di rigidità il contributo fornito dalle zone 4 e 5.

Effettuata questa distinzione è possibile effettuare una modellazione mirata del comportamento globale del nodo.

In particolare si assume come centro di rotazione la linea media relativa allo spessore della flangia compressa, mentre gli elementi rappresentativi delle 5 zone sono di due tipi, a seconda del ruolo meccanico ricoperto dalla singola componente:



Con l'elemento "molla" si schematizzano le componenti che concorrono sia alla deformabilità rotazionale (mediante la rigidezza traslatoria k_t se siamo in campo elastico) che alla resistenza (mediante la resistenza di progetto F_{rd}) del nodo.



Con l'elemento "damper", invece, si schematizzano quelle componenti che sono costituite e caratterizzate in base alla sola resistenza di progetto. Esse determinano una limitazione alla resistenza del collegamento ma non hanno alcuna influenza sulla deformabilità rotazionale del collegamento.

Compatibilmente con il ruolo delle componenti, il nodo è schematizzato con 3 elementi molla, per le zone 1-2-3, e 2 elementi "damper" per le zone 4-5.

Il problema è quello di caratterizzare i parametri dei modelli rappresentativi di ogni singola zona, e poi da questi passare alla deformabilità rotazionale dell'intero collegamento.

Nel caso in esame, per quanto attiene alla resistenza flessionale, il discorso è fintanto semplice. In un collegamento saldato trave-colonna, l'unione collassa o perché collassa la molla (1), cioè si plasticizza a taglio il pannello nodale, o perché si rompe a compressione (molla (2)) o a trazione (molla (3)) l'anima della colonna, o perché si instabilizza la flangia compresa della trave (damper (5)), ovvero si instabilizza la flangia della colonna (11).

soggetta a flessione (dumper(4)).

Dunque la resistenza è controllata dalla resistenza della componente più debole:

$$H_{j,R_d} = \min \left\{ F_{i,R_d} \right\} \cdot h_t$$

braccio
della
coppia
interna

resistenza di
progetto dell'i-esima
componente.

Alla fine, dunque, si tratta di
ottenere le espressioni della

F_{i,R_d} delle singole componenti.

Per quanto attiene al calcolo della rigidità rotazionale,
facciamo le seguenti osservazioni:

Se ho una molla di rigidità
traslazionale k_t e la collogo
ad un estremo di un braccio
infinitamente rigido, e all'altro quest'
ultimo è legato al centro di rotazione C.

La relazione fra forza che nasce inella molla e lo sposta-
mento δ risulta:

$$F = k_t \cdot \delta ; \text{ ma in piccoli spostamenti:}$$

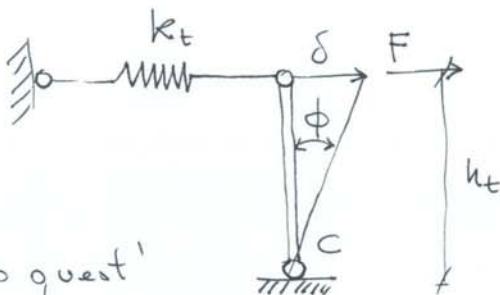
$$\delta = \phi \cdot h_t , \text{ da cui:}$$

$F = k_t \phi h_t$, il contributo che questa molla fornisce
alla resistenza flessionale è data dalla
forza per il braccio, ovvero:

$$H = F \cdot h_t = k_t \phi h_t^2 = k_r \phi \quad \text{da cui l'espressione
della rigidità rotazionale:}$$

$$\boxed{k_r = k_t \cdot h_t^2}$$

Questo è la relazione nel caso in cui
il nodo fosse modellato da un'unica
molla.



Nel caso più generale in cui ci siano un numero discreto di elementi "molla", c'è da considerare come ogni singola molla dia un contributo alla rigidezza rotazionale, per cui esse possono avere a tutti gli effetti considerate come molle in serie, per le quali risulta:

$$K_{\phi} = \frac{1}{1/k_{r1} + 1/k_{r2} + 1/k_{r3} + \dots + 1/k_{rn}}$$

(Si noti come il comportamento delle rigidezze sia duale in termini di espressione a quello delle resistenze)

Introducendo nel nostro caso specifico con:

k_1 = rigidezza traslazionale dell'anima sollecitata a taglio della colonna

k_2 = rigidezza traslazionale dell'anima della colonna sollecitata a compressione

k_3 = rigidezza traslazionale dell'anima della colonna sollecitata a trazione

si ottiene:

$$K_{\phi} = \frac{h_t^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}}$$

Il problema è formalmente risolto a patto di salutare in qualche modo le quantità k_1, k_2, k_3 e $F_{1,R_d}, F_{2,R_d}, F_{3,R_d}, F_{4,R_d}$ ed F_{5,R_d} , ovvero le rigidezze traslazionali e le resistenze per gli elementi molla, e le sole resistenze per gli elementi damper.