

Corso di aggiornamento

**Progetto di edifici antisismici
con struttura a telaio in acciaio**

5 - Comportamento e verifiche richieste

Villa Redenta, Spoleto

23-24 marzo 2017

Aurelio Ghersi

SLV: buon comportamento dissipativo

Occorre garantire:

- Duttilità locale

Le zone dissipative devono potersi deformare plasticamente senza riduzione di resistenza, fino ad elevati valori della deformazione plastica

- Duttilità globale

Si deve raggiungere il collasso secondo il modello di comportamento previsto

Le zone dissipative si devono plasticizzare, mentre le altre devono rimanere in campo elastico

Caratteristiche dell'acciaio per garantire duttilità locale

Per garantire una buona duttilità locale:

- il rapporto f_u/f_y ed il valore di ε_u devono rispettare i limiti

$$\frac{f_{uk}}{f_{yk}} \geq 1.1 \qquad \varepsilon_u \geq 0.20$$

Nota: il limite per f_u/f_y è 1.2 in NTC08

Nota:

- Avere un buon margine tra f_u e f_y garantisce duttilità
- Questo incremento di resistenza (da f_y a f_u) può portare problemi nella gerarchia delle resistenze - quindi occorre tenerne conto

Caratteristiche dell'acciaio per garantire duttilità globale

Sovreresistenza (overstrength)

- Il valore medio della resistenza dell'acciaio $f_{y,medio}$ è sempre maggiore del valore di riferimento f_y
- Questa sovreresistenza può portare problemi nella gerarchia delle resistenze

Caratteristiche dell'acciaio per garantire duttilità globale

Sovreresistenza (overstrength)

- La sovreresistenza può portare problemi nella gerarchia delle resistenze

Per garantire una buona duttilità globale:

- occorre evitare una eccessiva sovreresistenza

$$f_{y,medio} \leq 1.2 f_{yk} \quad \text{per acciaio S235 e S275}$$

$$f_{y,medio} \leq 1.1 f_{yk} \quad \text{per acciaio S355, S420 e S460}$$

- per l'Eurocodice 8, punto 6.2 (3)

$$f_{y,max} \leq 1.1 \gamma_{ov} f_{yk} \quad \text{si noti il riferimento a } f_{y,max} \text{ anziché } f_{y,medio}$$

Caratteristiche dell'acciaio per garantire duttilità globale

Sovreresistenza (overstrength)

- La sovreresistenza può portare problemi nella gerarchia delle resistenze

Per garantire una buona duttilità globale:

- occorre tener conto di questa sovreresistenza
- la normativa prescrive di utilizzare nei calcoli un coefficiente γ_{ov}

$\gamma_{ov} = 1.25$ per acciaio S235, S275 e S355

$\gamma_{ov} = 1.15$ per acciaio S420 e S460

Nota: NTC08 usa il simbolo γ_{Rd} , che è però usato contemporaneamente in altri punti con diverso significato

Collegamenti per garantire duttilità

Per garantire una buona duttilità locale:

- occorre usare bulloni di classe 8.8 o 10.9



EC8, punto 6.2 (9)

Il problema principale è forse quello dell'indebolimento delle sezioni a causa dei fori, che può ridurre la duttilità

Duttilità locale

Dipende anche da:

- Comportamento della sezione

Occorre evitare l'instabilità locale. Quindi:

- Si devono usare sezioni di classe 1 e 2

Classe di duttilità	Valore di riferimento del fattore di struttura q_0	Classe di sezione trasversale richiesta
CD "B"	$2 < q_0 \leq 4$	Classe 1 o 2
CD "A"	$q_0 > 4$	Classe 1

Nota: Elementi secondari, che rimangono in campo elastico durante il sisma, potrebbero essere anche realizzati con sezioni di classe 3 o 4

Duttilità locale

Dipende anche da:

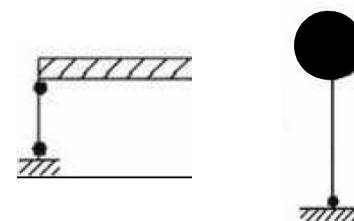
- Comportamento della sezione

Limitare lo sforzo normale nelle sezioni in cui si svolge essenzialmente la dissipazione:

$$N_{Ed} \leq 0.3 N_{pl,Rd}$$

Nel caso di:

- Colonne, ma solo per particolari meccanismi di collasso (per la Circolare)
- Più genericamente, colonne primarie di strutture a telaio in cui si prevede formazione di zone dissipative (Bozza NTC)



Ma è bene comunque evitare valori eccessivi di N_{Ed}

Duttilità locale

Dipende anche da:

- Comportamento della sezione
- Comportamento della sezione in presenza di fori

La resistenza ultima della sezione in corrispondenza ai fori deve essere maggiore della resistenza a plasticizzazione della sezione non forata

per asta tesa

$$\frac{A_{res}}{A} \geq 1.1 \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \frac{f_{yk}}{f_{uk}}$$

Nota: analoga condizione si deve imporre alle aste inflesse

Duttilità locale

Dipende anche da:

- Comportamento della sezione
- Comportamento della sezione in presenza di fori
- Resistenza dei collegamenti

Il collegamento deve essere a completo ripristino di resistenza (cioè la resistenza ultima del collegamento deve essere maggiore della resistenza a plasticizzazione della sezione, in modo che sia la sezione e non il collegamento a dissipare energia)

$$R_{j,d} \geq 1.1 \gamma_{ov} R_{pl,Rd}$$

L'EC8, punto 6.5.3 (9), consente plasticizzazioni nelle connessioni

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle travi

- La resistenza non deve essere ridotta dalla presenza di sforzo normale e taglio

$$N_{Ed} \leq 0.15 N_{pl,Rd}$$

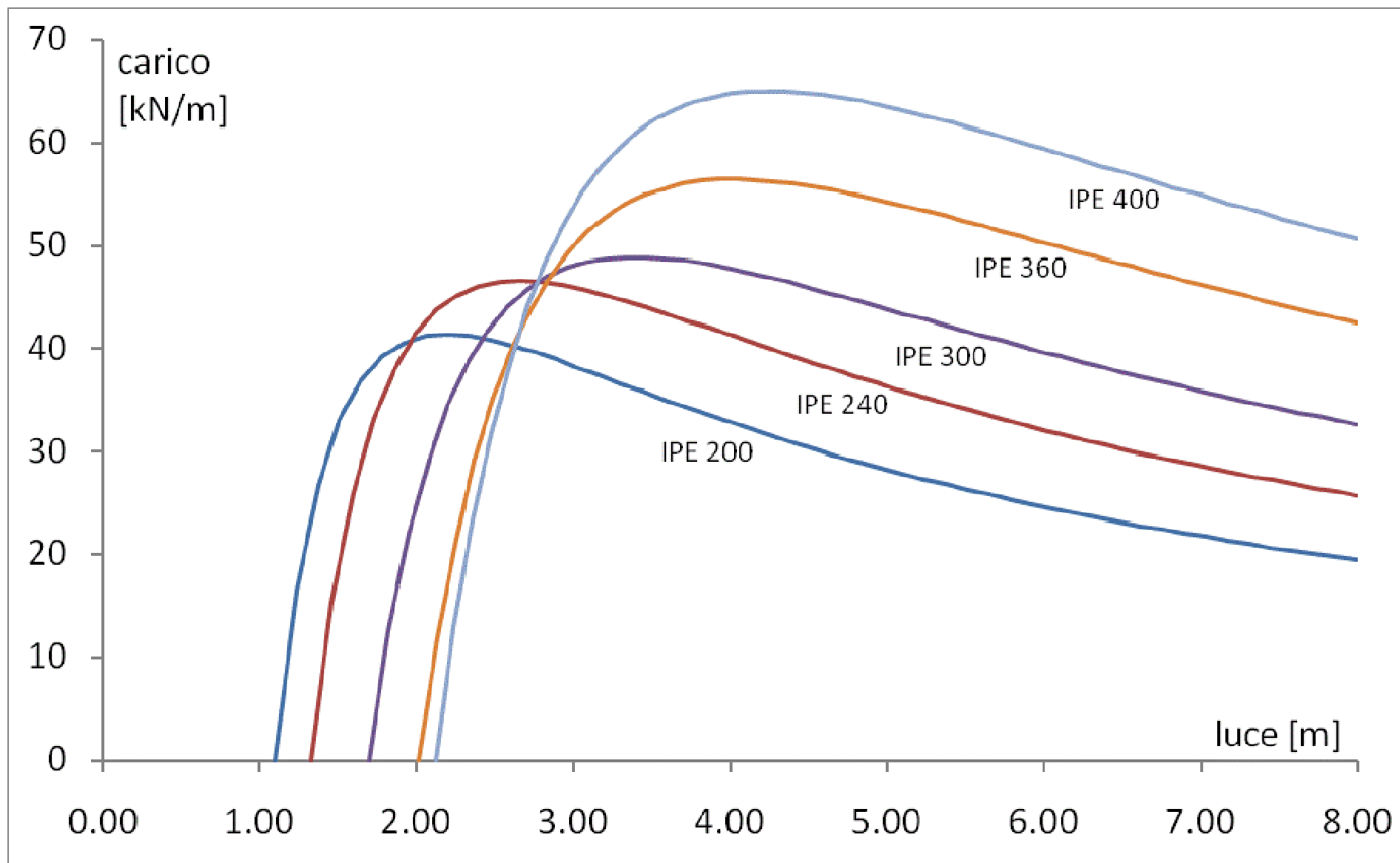
$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} = \frac{q l}{2} + \frac{2 M_{pl,Rd}}{l}$$

- La prima condizione è in genere rispettata (ma attenzione nel caso vi siano controventi di piano)
- La seconda condizione potrebbe condizionare la scelta della sezione, in funzione del carico

Travi:

carico massimo in funzione della luce



Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

- Occorre rispettare le relazioni

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

con

pedice G indica l'effetto dei carichi verticali

pedice E indica l'effetto del sisma

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

- Occorre rispettare le relazioni

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

con

1.1

tiene conto del rapporto tra f_{uk} e f_{yk}

γ_{ov}

tiene conto del rapporto tra $f_{y,medio}$ e f_{yk}

Ω

tiene conto della sovraresistenza globale della struttura

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

Ω rappresenta il moltiplicatore del sisma che porta alla prima plasticizzazione delle travi

$$\Omega = \text{Min} \left(\frac{M_{pl,Rd} - M_{Ed,G}}{M_{Ed,E}} \right)_{\text{travi}}$$

si ricordi che, mentre nelle strutture in c.a. la resistenza è dosata sezione per sezione disponendo le barre di armatura, nelle strutture in acciaio la resistenza è dettata dalla sezione, non modificabile

Nota: oltre a trovare il minimo, sarebbe importante esaminare la distribuzione dei valori di Ω nella struttura

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

Moltiplicare per 1.1 e γ_{ov} vuol dire tener conto della sovrarresistenza (locale) dell'acciaio delle travi, che può essere dovuta

- all'incrudimento, ovvero passaggio da f_y a f_u
- alla differenza tra valore medio e valore caratteristico di f_y

Moltiplicare per Ω vuol dire tener conto della sovrarresistenza globale ovvero considerare come valori di calcolo per le colonne quelli che corrispondono alla prima plasticizzazione delle travi

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

In pratica, si verificano le colonne per l'azione sismica che porterebbe alla prima plasticizzazione di trave tenendo conto anche della sovraresistenza locale che può avere la trave

- L'incremento può essere anche molto rilevante
- L'incremento non è legato alla classe di duttilità della struttura

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

Nota:

- La normativa italiana richiede di tenere espressamente conto del coefficiente di sovrarresistenza γ_{ov} nel calcolo
- La normativa europea consente di:
 - Tenere conto di γ_{ov} nel calcolo
 - Effettuare il calcolo con un unico valore di f_y , tenendo conto di γ_{ov} solo per i collegamenti, e poi usare nelle zone non dissipative un acciaio con f_y più grande del valore $f_{y,max}$ che si ha nelle zone dissipative

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

- Si richiede inoltre che

$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$$

Ma quale valore usare per V_{Ed} ?

- La norma italiana prescrive che:
"Nelle colonne in cui si attende la formazione di zone dissipative, la domanda deve essere calcolata nell'ipotesi che in corrispondenza di tali zone sia raggiunta la capacità a flessione $M_{pl,Rd}$ "

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

- Si richiede inoltre che

$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$$

Ma quale valore usare per V_{Ed} ?

- Mia interpretazione:

L'unica sezione in cui si prevede è quella alla base del primo ordine (se non vi è cerniera)

Solo per quella colonna si deve valutare il taglio tenendo conto, alla base, di $M_{pl,Rd}$

Colonne:

relazione tra taglio momento resistente

- Se si calcolasse sempre il taglio nelle colonne con riferimento al loro momento resistente

$$V_{Ed} = \frac{2 M_{pl,Rd(N)}}{h}$$

la condizione $V_{Ed} \leq 0.5 V_{Rd}$ porterebbe ad un limite per l'altezza della colonna

$$h \geq \frac{4\sqrt{3} M_{pl,Rd(N)}}{A_v}$$

Per profili come HE 360 B l'altezza limite è circa 3 m, per profili più grandi è maggiore

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle colonne

- Controllare anche, secondo il principio generale di gerarchia delle resistenze, che

$$\sum M_{c,pl,Rd} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{b,pl,Rd}$$

con $\gamma_{Rd} = 1.3$ o 1.1 (per classe A o B)

Questa regola è parzialmente un doppiante della prima indicazione (e in genere è più gravosa)

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Gerarchia di resistenza delle colonne:

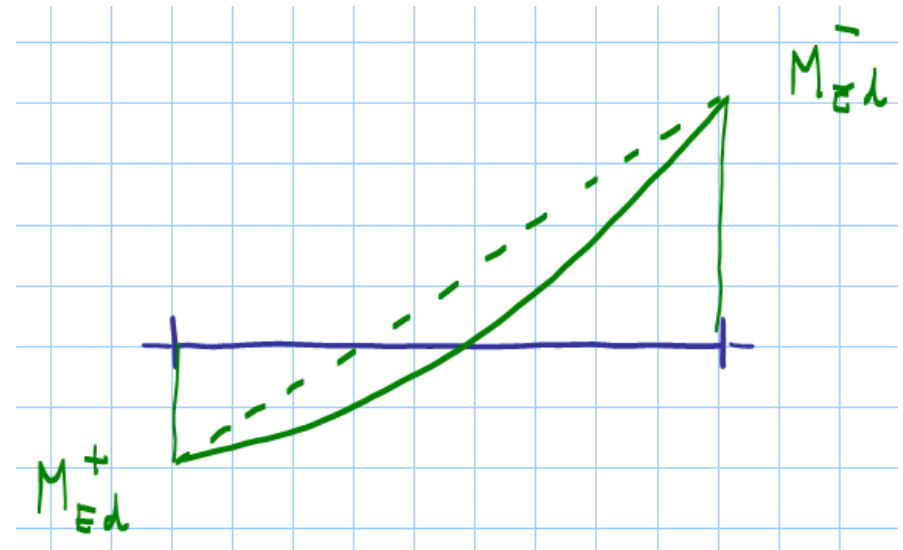
$$\sum M_{c,pl,Rd} \geq \gamma_{RD} \sum M_{b,pl,Rd}$$

Riflessione:

Tipico diagramma di M ($q+F$)

Nelle strutture in c.a. si mette
l'armatura strettamente
necessaria, quindi

$$M_{Rd}^+ < M_{Rd}^-$$



Gli estremi della trave si possono plasticizzare
contemporaneamente

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Gerarchia di resistenza delle colonne:

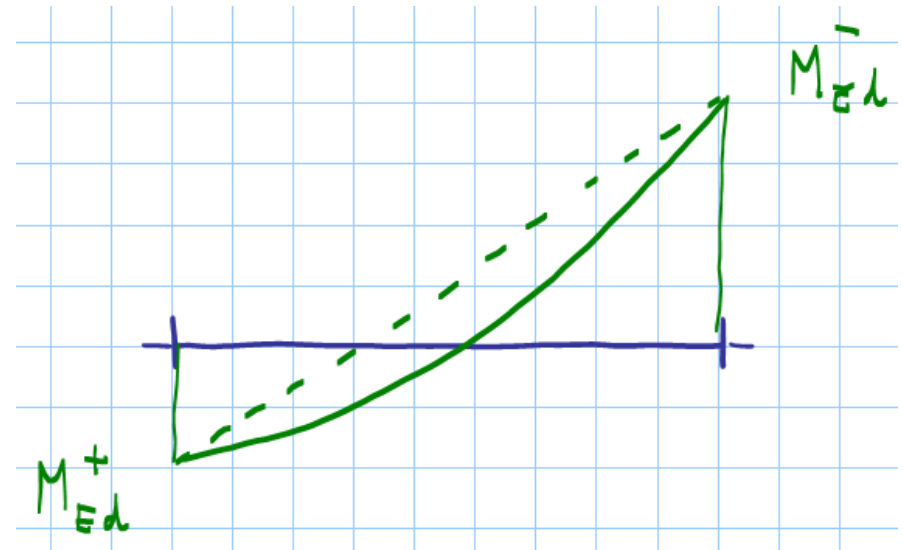
$$\sum M_{c,pl,Rd} \geq \gamma_{RD} \sum M_{b,pl,Rd}$$

Riflessione:

Tipico diagramma di M ($q+F$)

Nelle strutture in acciaio si ha
sempre

$$M_{Rd}^+ = M_{Rd}^-$$



Un estremo della trave si plasticizza parecchio dopo l'altro

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza dei pannelli nodali

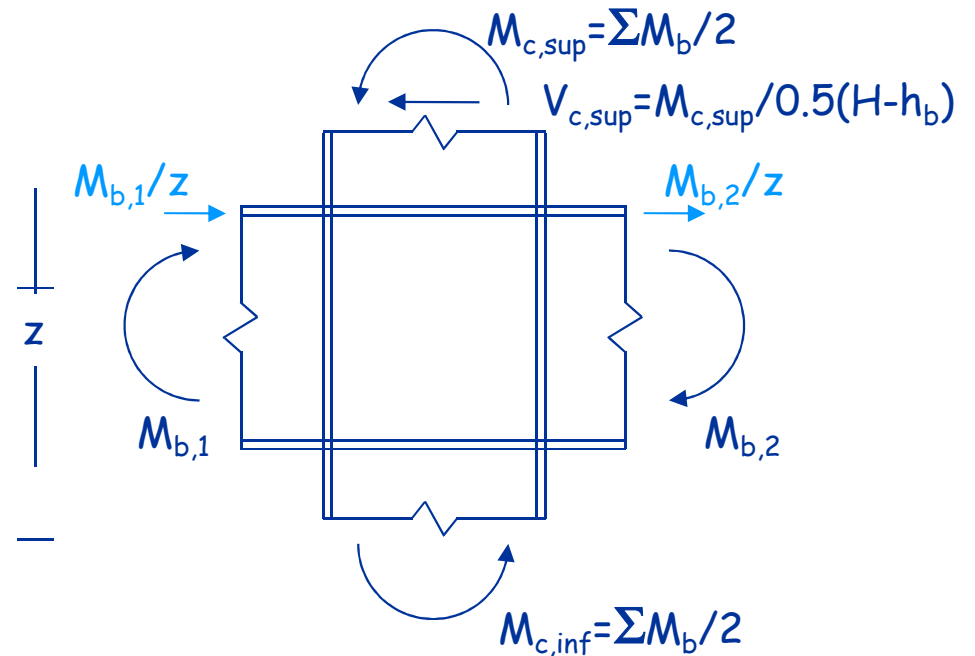
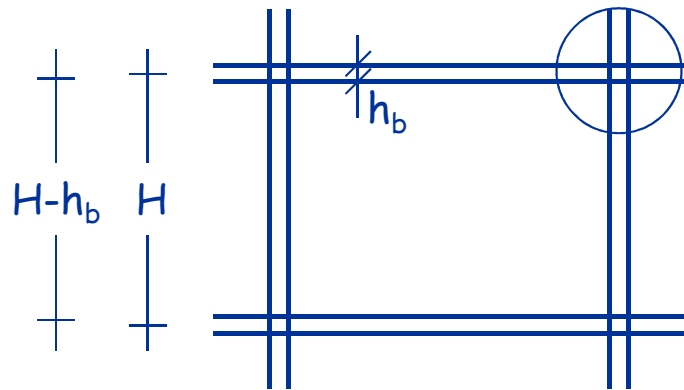
I pannelli d'anima devono essere progettati in modo da consentire lo sviluppo del meccanismo dissipativo della struttura, e cioè la plasticizzazione delle sezioni delle travi convergenti nel nodo trave-colonna

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza dei pannelli nodali

Occorre valutare la sollecitazione nel pannello nodale e verificarne la resistenza per plasticizzazione e per instabilità

- Sollecitazione



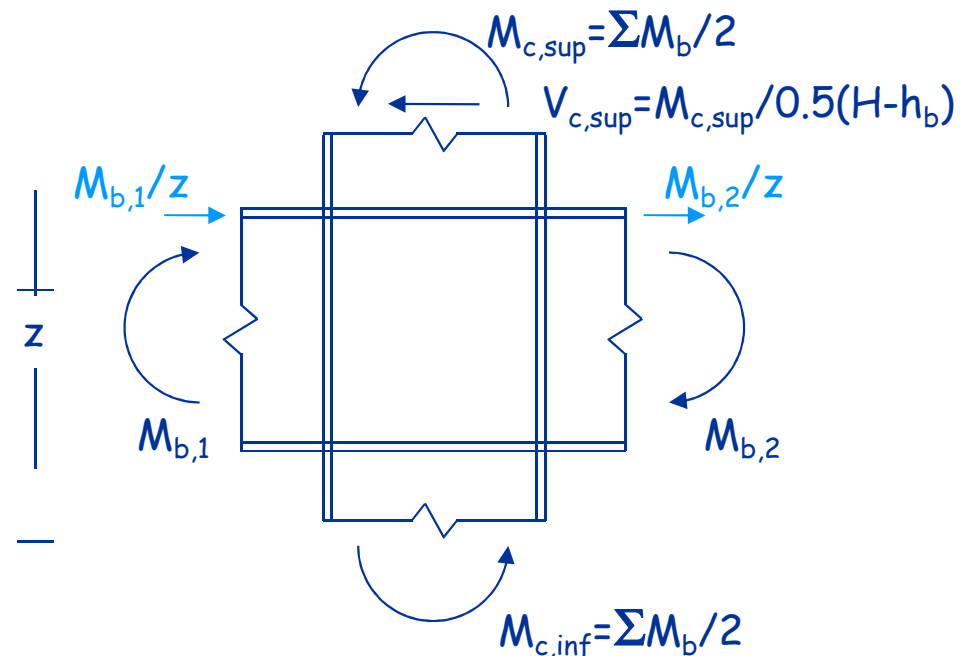
Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza dei pannelli nodali

Occorre valutare la sollecitazione nel pannello nodale e verificarne la resistenza per plasticizzazione e per instabilità

- Sollecitazione

$$\begin{aligned} V_{wp,Ed} &= \frac{M_{b,1}}{z} + \frac{M_{b,2}}{z} - V_{c,sup} = \\ &= \underbrace{\sum M_b}_{\gamma_{Rd} \sum M_{b,pl,Rd}} \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{H-h_b} \right) \end{aligned}$$



Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza dei pannelli nodali

Occorre valutare le sollecitazioni nel pannello nodale e verificarne la resistenza per plasticizzazione e per instabilità

- Resistenza a plasticizzazione

Criterio di Von Mises

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq f_y \quad \Rightarrow \quad \tau \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} A_{vc} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2}$$