

Corso di aggiornamento

Progetto di strutture antisismiche
con pareti in c.a. ed in acciaio

**Problemi specifici nel progetto
di strutture antisismiche in acciaio**

1 - Tipologie strutturali e problematiche generali

Imola

23-25 giugno 2011

Aurelio Ghersi

Tipologie strutturali

- Strutture intelaiate
 - La risposta ad azioni sismiche è prevalentemente flessionale
 - I collegamenti trave-colonna devono trasmettere momento flettente
 - La struttura può essere molto duttile (diffusa plasticizzazione delle sezioni)
 - La struttura è molto deformabile

Tipologie strutturali

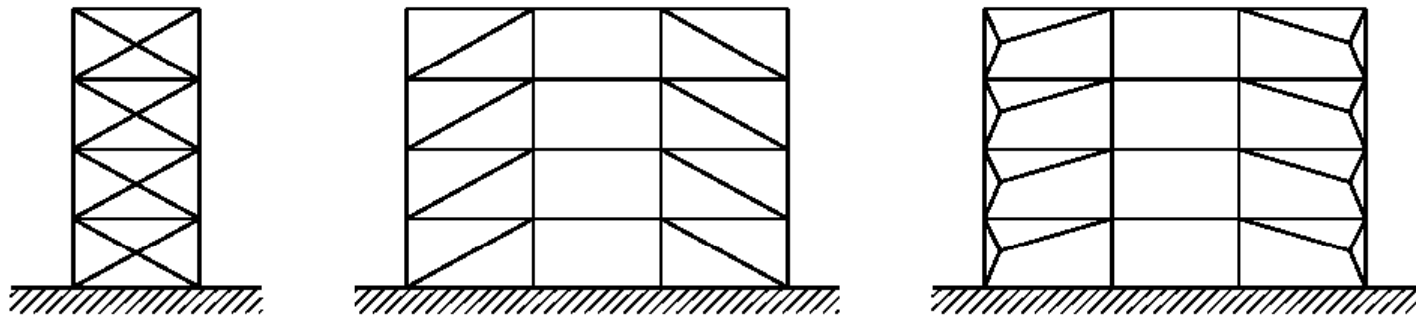
- Strutture con controventi concentrici
 - Sono aggiunte diagonali
 - La risposta ad azioni sismiche è prevalentemente estensionale
 - I collegamenti trave-colonna possono essere (e in genere sono) a cerniera
 - La struttura non è molto duttile (si plasticizzano solo le diagonali)
 - La struttura è adeguatamente rigida

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi concentrici

Possibili schemi strutturali:

- Controventi a croce (o a X) o schemi equivalenti



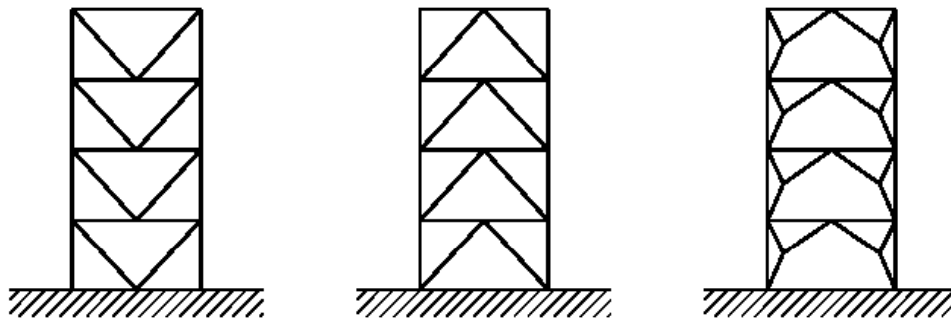
La resistenza alle azioni orizzontali e la capacità dissipativa è affidata solo alle diagonali tese

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi concentrici

Possibili schemi strutturali:

- Controventi a V



La resistenza alle azioni orizzontali è affidata sia alle diagonali tese che a quelle compresse

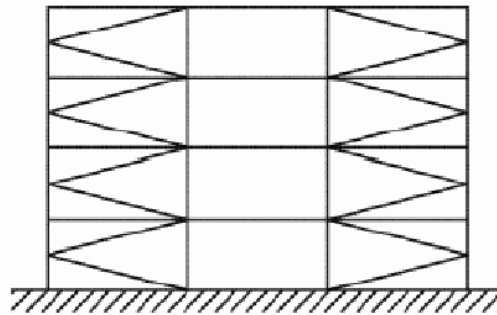
L'instabilizzazione delle diagonali compresse provoca flessione nella trave

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi concentrici

Nota. Non sono considerati dissipativi:

- Controventi a K



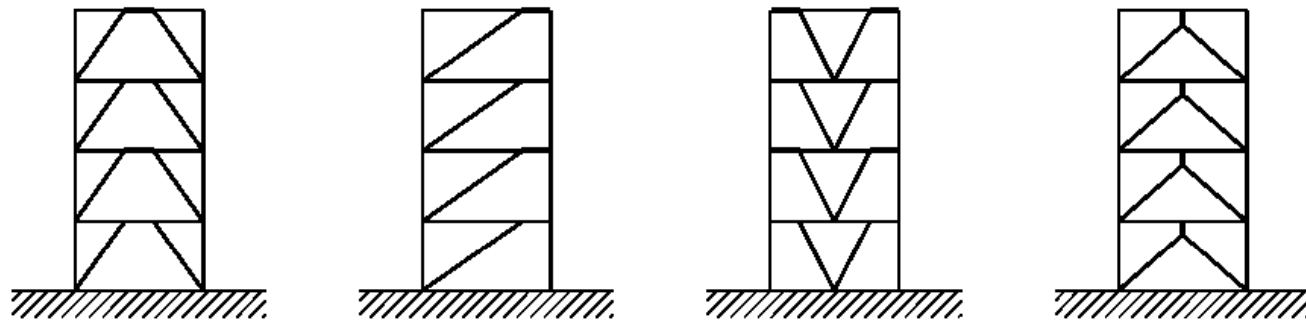
L'instabilizzazione delle diagonali compresse provoca flessione nella colonna e quindi un meccanismo di collasso non dissipativo

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi eccentrici
 - Le diagonali non convergono nel nodo
 - Rimangono tratti soggetti a flessione e taglio (link)
 - La risposta ad azioni sismiche è sia estensionale che flessionale
 - La struttura è duttile (i link si plasticizzano e dissipano energia)
 - La struttura è sufficientemente rigida

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi eccentrici
Possibili schemi strutturali:



La plasticizzazione dei link a un piano riduce fortemente la rigidezza e cambia il comportamento dinamico (meccanismo di piano soffice)

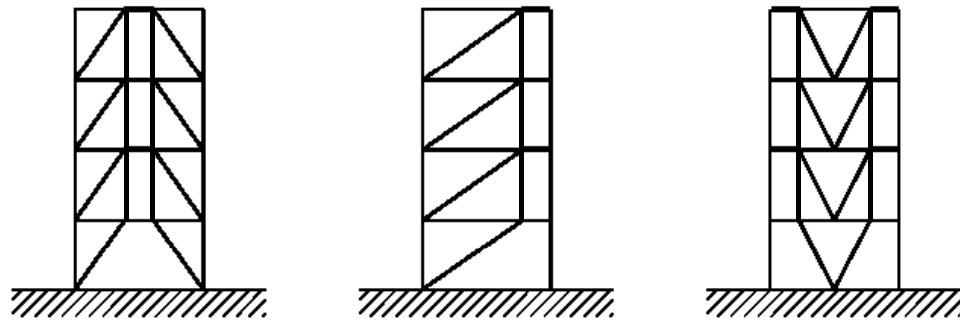
Ma questo può avvenire anche per telai con controventi concentrici

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi eccentrici

Possibili schemi strutturali:

- un'alternativa



L'aggiunta di aste verticali (tie) impedisce la formazione di meccanismi di piano

Tipologie strutturali

- Altre tipologie strutturali
 - Strutture a pendolo capovolto
 - Strutture "duali", con telai resistenti a flessione accoppiati a controventi
 - Strutture con telai resistenti a flessione accoppiate a tamponamenti rigidi
 - Strutture con nuclei in cemento armato (che portano sostanzialmente l'azione sismica)

Progettazione strutturale in zona sismica

Stati limite da verificare

- SLD - Stato Limite di Danno
 - Si usa lo spettro di risposta elastico, con accelerazioni corrispondenti ad un periodo di ritorno basso
 - Si ipotizza un comportamento **elastico** (non dissipativo)
- SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita
 - Si usa lo spettro di risposta di progetto, con accelerazioni corrispondenti ad un periodo di ritorno alte e riduzione per fattore di struttura q
 - Si ipotizza un comportamento **dissipativo**, con classe di duttilità A (alta) o B (bassa)

└─→ EC8: M (media)

SLV

Stato Limite di salvaguardia della Vita

- È possibile progettare allo SLV ipotizzando un comportamento non dissipativo ($q \leq 2$) ?
 - Norma italiana:
"Nel comportamento strutturale dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite ultimi ..."
NTC08, punto 7.2.1
 - Norma europea:
"Per gli edifici che non sono isolati sismicamente, la progettazione poco dissipativa è raccomandata solo per casi di bassa sismicità."
EC8, punto 6.1.2 (4)

Ma, in generale, è possibile progettare con q basso, se si garantisce comunque una discreta duttilità

Strutture (intelaiate) in acciaio:
comportamento e verifiche richieste

SLV: buon comportamento dissipativo

Occorre garantire:

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

Duttilità locale

Dipende da:

- Duttilità del materiale

La duttilità è garantita da prescrizioni su limiti minimi del rapporto f_u/f_y e del valore di ε_u

$$\frac{f_{uk}}{f_{yk}} \geq 1.2 \qquad \varepsilon_u \geq 0.20$$

Nelle connessioni bullonate (per gli elementi sismoresistenti) occorre usare bulloni di classe 8.8 o 10.9

Non so bene cosa c'entri con la duttilità



EC8, punto 6.2 (9)

Duttilità locale

Dipende da:

- Duttilità del materiale
- 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

Duttilità locale

Dipende da:

- Duttilità del materiale
- Comportamento della sezione

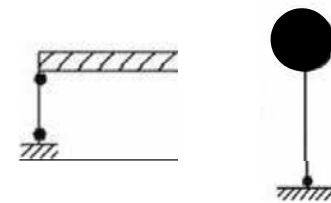
Occorre evitare l'instabilità locale. Quindi:

- Si deve limitare lo sforzo normale

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

Questa indicazione si riferisce alle sezioni in cui si svolge essenzialmente la dissipazione:

- Travi (se ci sono controventi di piano)
- Colonne (solo per particolari meccanismi di collasso)



Duttilità locale

Dipende da:

- Duttilità del materiale
- 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 da:

- Duttilità del materiale
- 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)

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

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

NTC08, punto 7.5.3.3

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Caratteristiche del materiale

Per un buon comportamento globale occorre evitare una eccessiva sovrarresistenza

$$f_{y,max} \leq 1.2 f_{yk}$$

$$f_{y,max} \leq 1.1 \gamma_{ov} f_{yk}$$

EC8, punto 6.2 (3)

Nei calcoli si terrà conto di questa possibile sovrarresistenza mediante il coefficiente di sovrarresistenza

$$\gamma_{Rd} = f_{y,m} / f_{yk}$$

γ_{ov} per EC8

Acciaio	$\gamma_{Rd} = \frac{f_{y,m}}{f_{yk}}$
S 235	1,20
S 275	1,15
S 355	1,10
S 420	1,10
S 460	1,10

NTC08, punto 11.3.4.9

Attenzione: questo γ_{Rd} crea confusione, perché già usato con altro significato

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Caratteristiche del materiale

Per un buon comportamento globale occorre evitare una eccessiva sovraresistenza

- La normativa italiana richiede di tenere espressamente conto del coefficiente di sovraresistenza γ_{Rd} 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

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle travi

Non deve essere ridotta dalla presenza di sforzo normale e momento flettente

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

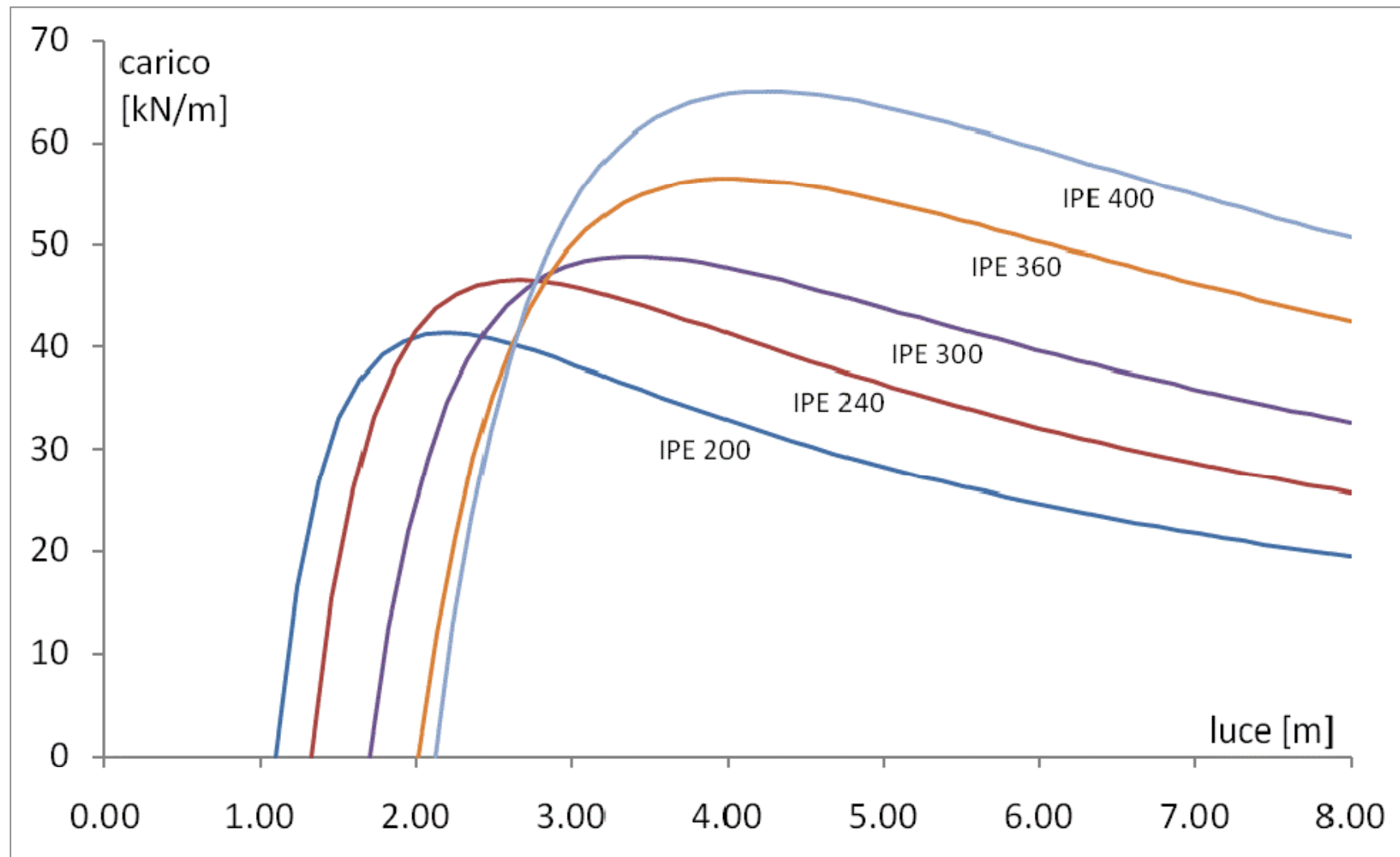
$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$$

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

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

Travi:

carico massimo in funzione della luce



Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

Le NTC08 e l'EC8 forniscono una indicazione specifica, diversa da quella contenuta nella parte generale

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

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

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

dove

G indica l'effetto dei carichi verticali

E indica l'effetto delle azioni sismiche di calcolo

Ω è il valore minimo di $M_{pl,Rd} / M_{Ed}$ per le travi

Cosa vuol dire?

Nota:

$$\gamma_{Rd} = f_{y,m} / f_{yk}$$

$$1.1 = f_{uk} / f_{yk}$$

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

Che significato hanno le espressioni indicate?

Ritengo che Ω sia da intendersi come il moltiplicatore del sisma che porta alla prima plasticizzazione delle travi

Ma allora, più correttamente

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

In questo modo, i valori di calcolo nelle colonne sono quelli che corrispondono alla prima plasticizzazione delle travi

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

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

L'Ordinanza 3431 indicava

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + \Omega' N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + \Omega' M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + \Omega' V_{Ed,E}$$

con

$$\Omega' = \text{Min} \left(\frac{1.1 \gamma_{Rd} M_{pl,Rd} - M_{Ed,G}}{M_{Ed,E}} \right)_{\text{travi}}$$

dove Ω' sarebbe il moltiplicatore che porta alla resistenza massima della trave (ipotizzando analisi lineare)

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne
 - Si richiede inoltre che

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

Si noti che questa prescrizione è riferita al valore di calcolo V_{Ed} e non al valore massimo possibile ($2 M_{N,Rd} / l$)

- La norma prescrive anche che
 - “Nelle colonne in cui si attende la formazione di cerniere plastiche, le sollecitazioni devono essere calcolate nell'ipotesi che nelle cerniere plastiche il momento flettente sia pari a $M_{pl,Rd}$ ” (NTC08)
 - “La verifica consideri che in queste cerniere plastiche il momento sollecitante sia uguale a $M_{pl,Rd}$ ” (EC8)

Cosa vuol dire? $M_{pl,Rd}$ è probabilmente il valore che si ha per $N \leq 0.5$ a $N_{pl,Rd}$. Equivale allora ad una limitazione di N ?

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

Occorre applicare il principio generale di gerarchia delle resistenze

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

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

Notare la confusione di simboli (nella parte generale si usa a questo scopo γ_{Rd} che qui ha un altro significato)

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

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

Riflessione:

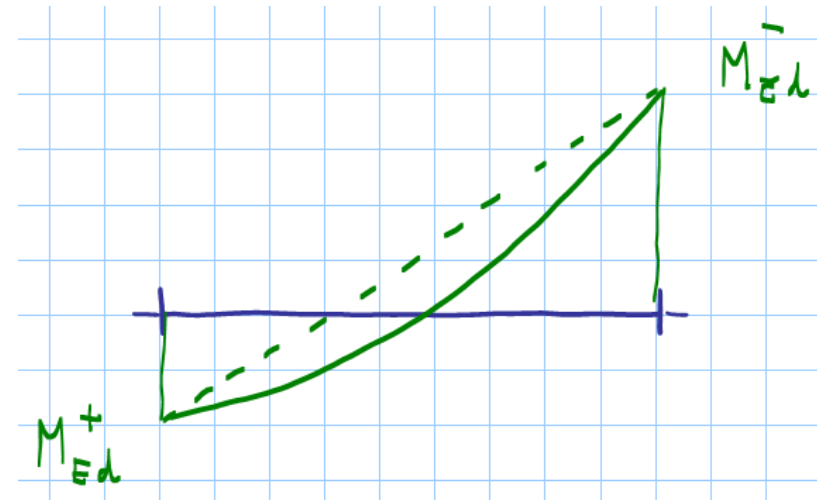
Tipico diagramma di M ($q+F$)

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

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

Gli estremi della trave si possono plasticizzare contemporaneamente

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



Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

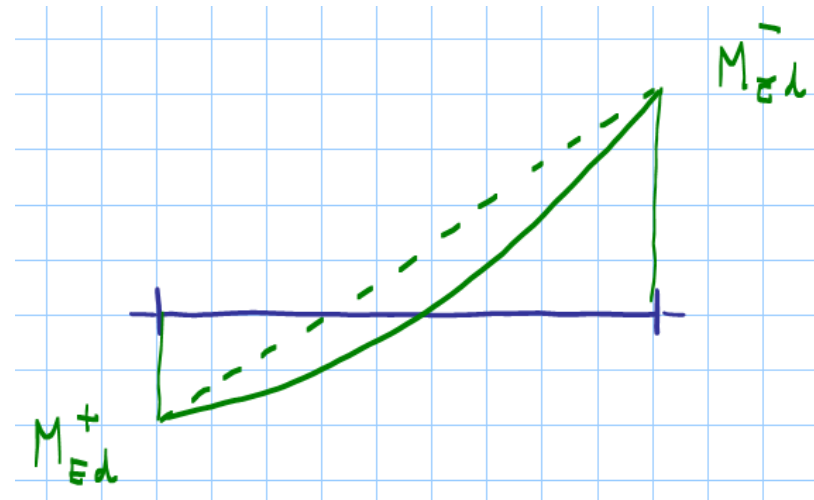
Riflessione:

Tipico diagramma di M ($q+F$)

Nelle strutture in acciaio si ha sempre

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

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



Un estremo della trave si plasticizza parecchio dopo l'altro

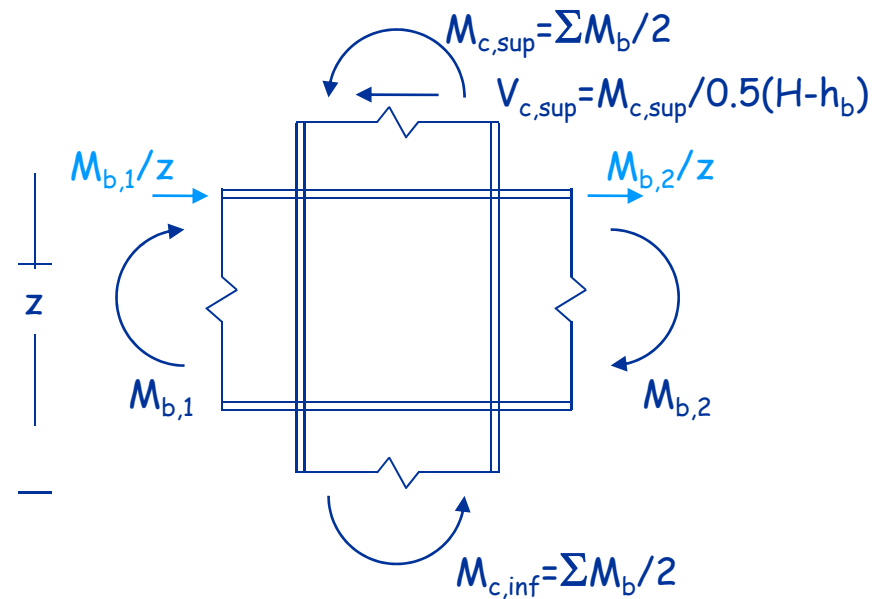
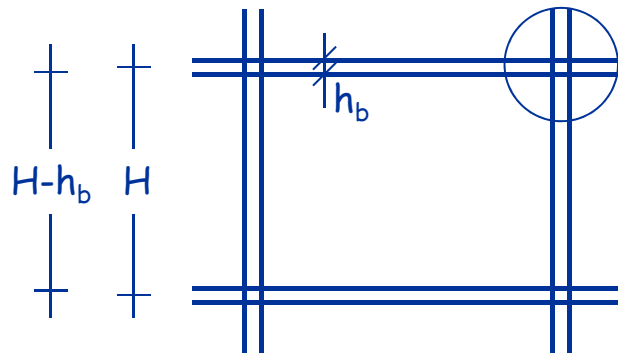
Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza dei pannelli nodali

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

- Sollecitazione



Duttilità globale

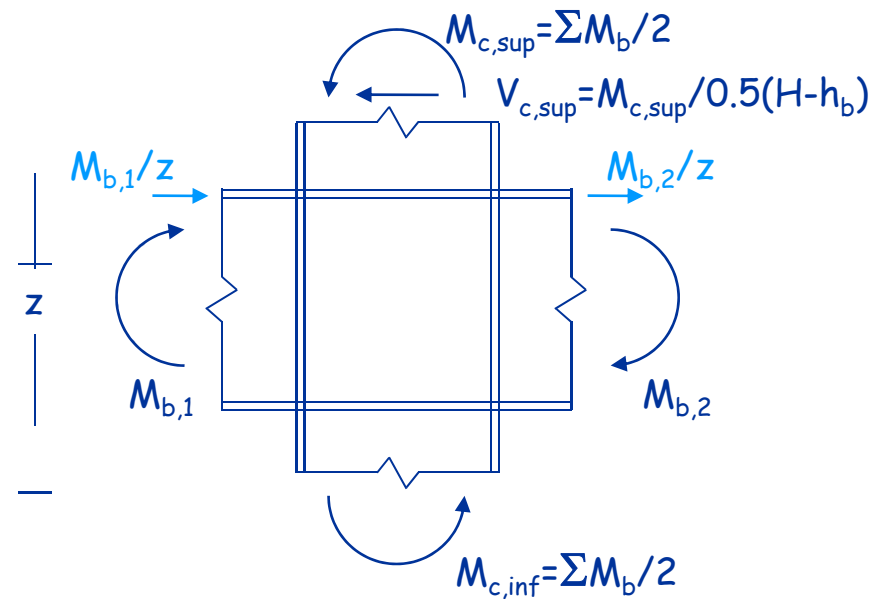
Occorre controllare:

- Resistenza dei pannelli nodali

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

- Sollecitazione

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



Circolare, punto C7.5.4.5

Duttilità globale

Occorre controllare:

- 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

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