

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

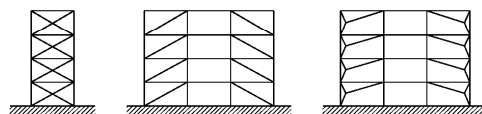
- Strutture intelaiate
 - La risposta ad azioni sismiche è prevalentemente flessionale
 - I collegamenti trave-colonna devono trasmettere momento flettente
 - La struttura può essere molto duttile (diffusa plasticizzazione delle sezioni)
 - La struttura è molto deformabile

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

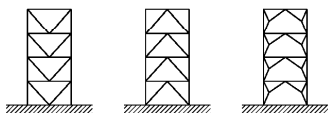
- Strutture con controventi concentrici
Possibili schemi strutturali:
 - Controventi a croce (o a X) o schemi equivalenti



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

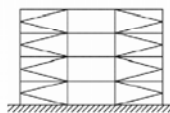


La resistenza alle azioni orizzontali è affidata sia alle diagonali tese che a quelle compresse

L'instabilizzazione delle diagonali compresse provoca flessione nella trave

Tipologie strutturali

- Strutture con controventi concentrici
Nota. Non sono considerati dissipativi:
 - Controventi a K



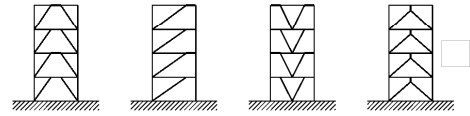
L'instabilizzazione delle diagonali compresse provoca flessione nella colonna e quindi un meccanismo di collasso non dissipativo

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:

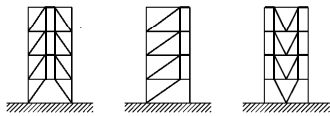


La plasticizzazione dei link a un piano riduce fortemente la rigidità e cambia il comportamento dinamico (meccanismo di piano soffice)

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:

- **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

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

$$\frac{f_{uk}}{f_{yk}} \geq 1.2 \quad \epsilon_u \geq 0.20$$

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)

NTC08, punto 11.3.4.9

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

NTC08, punto 7.5.3.1

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)



Circolare, punto C7.5.2.1

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

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

$$\text{per asta tesa} \quad \frac{A_{res}}{A} \geq 1.1 \frac{\gamma_{M2} f_{yk}}{\gamma_{M0} f_{uk}}$$

Nota: analoga condizione si deve imporre alle aste inflesse

NTC08, punto 7.5.3.2

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 sovrarresistenza

- La normativa italiana richiede di tenere espressamente conto del coefficiente di sovrarresistenza 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

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

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

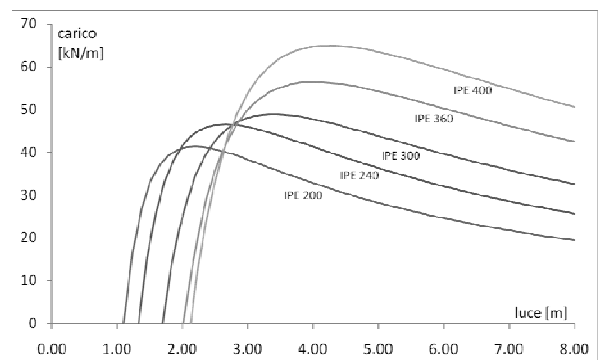
- La prima condizione è in genere rispettata (ma attenzione nel caso di controventi di piano)
- La seconda condizione potrebbe condizionare la scelta della sezione, in funzione del carico, tenendo presente che

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

NTC08, punto 7.5.4.1

EC8, punto 6.6.2

Travi: carico massimo in funzione della luce



Duttività 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?

NTC08, punto 7.5.4.2

EC8, punto 6.6.3

Nota:

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

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

Duttività 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

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

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

Duttività 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

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

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

Duttività 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 ?

Duttività 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 doppione della prima indicazione (e in genere è più gravosa)

NTC08, punto 7.5.4.3

Non c'è nell'EC8

Duttività globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

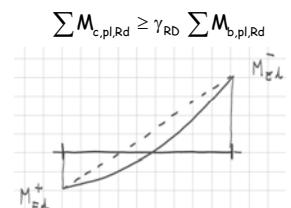
Riflessione:

Tipico diagramma di M ($q \cdot F$)

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

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

Gli estremi della trave si possono plasticizzare contemporaneamente



NTC08, punto 7.5.4.3

Non c'è nell'EC8

Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza delle colonne

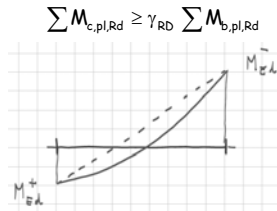
Riflessione:

Tipico diagramma di M ($q+F$)

Nelle strutture in acciaio si ha sempre

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

Un estremo della trave si plasticizza parecchio dopo l'altro



NTC08, punto 7.5.4.3

Non c'è nell'EC8

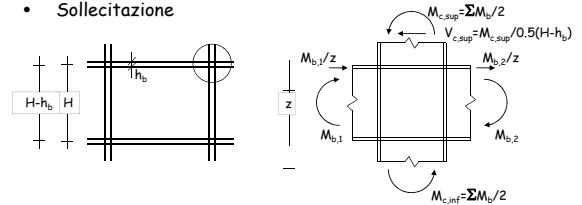
Duttilità globale

Occorre controllare:

- Resistenza dei pannelli nodali

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

- Sollecitazione



NTC08, punto 7.5.4.5

Duttilità globale

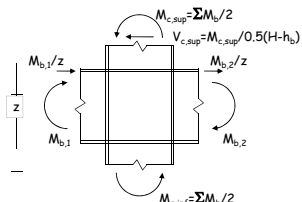
Occorre controllare:

- Resistenza dei pannelli nodali

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

- Sollecitazione

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b,1}}{z} + \frac{M_{b,2}}{z} - V_{c,sup} = \sum M_b \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{H-h_b} \right)$$



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

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

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

Circolare, punto C7.5.4.5