

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

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

6 - Strutture con controventi concentrici tradizionali
Criteri di progetto

Imola
23-25 giugno 2011
Melina Bosco

1/34

Definizione del fattore di struttura

Può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 K_R$$

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende

1. dal materiale della struttura
2. dalla tipologia della struttura
3. dal livello di duttilità globale della struttura
4. dalla sovrarresistenza della struttura
5. della regolarità in pianta della struttura

K_R dipende dalla regolarità in altezza della struttura

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

2/34

Definizione del fattore di struttura (q_0)

	cd "B"	cd "A"
Strutture a telaio, con controventi eccentrici	4.0	5.0 α_u/α_1
Controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4.0	4.0
Controventi concentrici a V	2.0	2.5
Strutture a mensola o a pendolo inverso	2.0	2.0 α_u/α_1
Strutture intelaiate con controventi concentrici	4.0	4.0 α_u/α_1
Strutture intelaiate con tamponature in muratura	2.0	2.0

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni -

3/34

Progetto dei controventi

Le diagonali sono destinate a sviluppare un comportamento inelastico e dunque a dissipare energia.

Ai fini della resistenza alle azioni sismiche vanno considerate

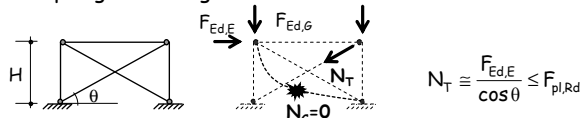
- Le sole diagonali tese (Tipologia a diagonale tesa)
- Tutte le diagonali (Tipologia con controventi a V)

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni 7.5.2.1

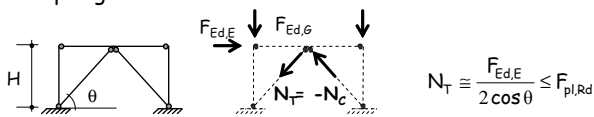
4/34

Progetto dei controventi

Tipologia con diagonale tesa attiva



Tipologia con controventi a V



D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni 7.5.5

5/34

Progetto dei controventi

La risposta carico-spostamento laterale deve risultare sostanzialmente indipendente dal verso dell'azione sismica.

L'Eurocodice 8 suggerisce di progettare i controventi in modo che

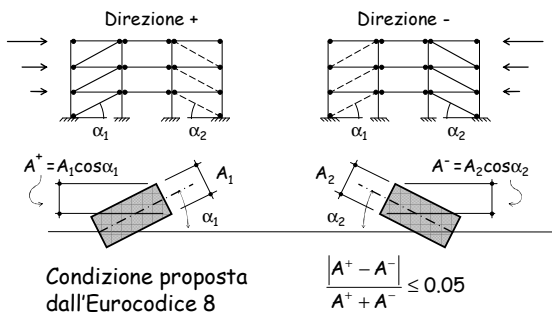
$$\frac{|A^+ - A^-|}{A^+ + A^-} \leq 0.05$$

A^+ e A^- sono le aree delle proiezioni orizzontali delle sezioni trasversali delle diagonali tese, quando l'azione sismica ha rispettivamente la direzione positiva e negativa

Circolare esplicativa n. 617 del 02/02/2009 - 7.5.5

6/34

Progetto dei controventi



Circolare esplicativa n. 617 del 02/02/2009 - 7.5.5

7/34

Spessori limite dei profili

REGOLA GENERALE (per tutte le strutture in acciaio) per parti compresse e/o inflesse delle zone dissipative

Garantire una duttilità locale sufficiente degli elementi che dissipano energia in compressione e/o flessione limitando il rapporto larghezza-spessore b/t secondo le classi di sezioni trasversali specificate nelle presenti norme, in funzione della classe di duttilità e del fattore di struttura q_0 usato in fase di progetto.

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

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.3.1

8/34

Spessori limite dei profili

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e compressione
Distribuzione delle tensioni (compressione positiva)			
1	$c/t \leq 72 \epsilon$	$c/t \leq 33 \epsilon$	se $\alpha > 0.5$ $c/t \leq 396 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ se $\alpha \leq 0.5$ $c/t \leq 36 \epsilon / \alpha$
2	$c/t \leq 83 \epsilon$	$c/t \leq 38 \epsilon$	se $\alpha > 0.5$ $c/t \leq 456 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ se $\alpha \leq 0.5$ $c/t \leq 41.5 \epsilon / \alpha$

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 4.2.3.1

9/34

Spessori limite dei profili

Regola specifica per strutture in acciaio con controventi concentrici

- Aste del controvento con Sezioni Circolari Cave
 - $d/t \leq 36$
 - d diametro esterno del tubo
 - t spessore del tubo
- Profili Tubolari a Sezione Rettangolare
 - $b/t \leq 18$
 - b larghezza delle parti che costituiscono la sezione
 - t spessore delle parti che costituiscono la sezione

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.5

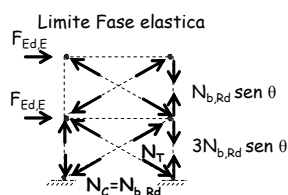
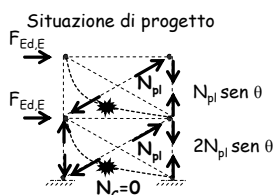
10/34

Snellezze limite dei controventi

Per edifici con più di due piani, la snellezza adimensionale delle diagonali deve rispettare le condizioni

$$1.3 \leq \bar{\lambda} \leq 2.0$$

controventi ad X



$$\text{se } \bar{\lambda} = 1.3 \Rightarrow \chi = 0.47 \Rightarrow 3 N_{b,Rd} = 3 \times 0.47 \times N_{pl} \leq 2 N_{pl}$$

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.5

11/34

Snellezze limite dei controventi

Per edifici con più di due piani, la snellezza adimensionale delle diagonali deve rispettare le condizioni

$$1.3 \leq \bar{\lambda} \leq 2.0$$

controventi ad X

Il limite inferiore è definito per evitare di sovraccaricare le colonne nella fase di comportamento elastica delle diagonali (ovvero quando le diagonali tese e compresse sono attive) oltre gli effetti ottenuti da un'analisi in corrispondenza dello stato ultimo quando solo le diagonali tese sono attive.

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.5

12/34

Snellezze limite dei controventi

Per edifici con più di due piani, la snellezza adimensionale delle diagonali deve rispettare le condizioni

$$\bar{\lambda} \leq 2.0 \quad \text{controventi ad V}$$

Sia i controventi tesi sia quelli compressi sono inseriti nel modello di calcolo

Progetto degli altri elementi

Con la sola eccezione delle diagonali, tutti gli elementi della struttura controventata devono avere un comportamento elastico sino al collasso della struttura

"le strutture con controventi concentrici devono essere progettate in modo che la plasticizzazione delle diagonali tese preceda la rottura delle connessioni e l'instabilizzazione di travi e colonne".



Gli elementi strutturali differenti dalle diagonali devono essere progettati sulla base delle massime azioni sviluppabili dalle diagonali

Progetto dei controventi: Influenza dei collegamenti bullonati

Membrature tese con collegamenti bullonati
la resistenza plastica di progetto deve risultare inferiore alla resistenza ultima di progetto della sezione netta in corrispondenza dei fori per i dispositivi di collegamento:

$$A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq 0.9 A_{res} \frac{f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

Progetto dei controventi: Influenza dei collegamenti bullonati

Membrature tese con collegamenti bullonati
la verifica si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{A_{res}}{A} \geq 1.1 \frac{f_y}{f_{tk}} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

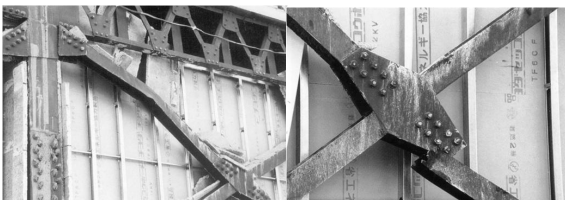
essendo :

A l'area lorda ;

A_{res} l'area resistente costituita dall'area netta in corrispondenza dei fori di rinforzo ;

γ_{M0} γ_{M2} i coefficienti di sicurezza parziale dei materiali.

Progetto dei controventi: Rottura prematura



Instabilità del controvento

Rottura della sezione netta del controvento

Collegamenti in zone dissipative Regole di progetto generali

I collegamenti in zone dissipative devono avere sufficiente sovrarresistenza per consentire la plasticizzazione delle parti collegate.

- Saldature a completa penetrazione:
il requisito è soddisfatto

Collegamenti in zone dissipative Regole di progetto generali

I collegamenti in zone dissipative devono avere sufficiente sovrarresistenza per consentire la plasticizzazione delle parti collegate.

- Saldature a cordoni d'angolo o collegamenti bullonati:

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

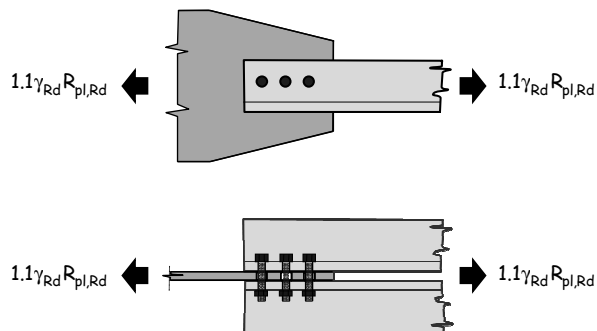
dove:

$R_{j,d}$ è la resistenza di progetto del collegamento;

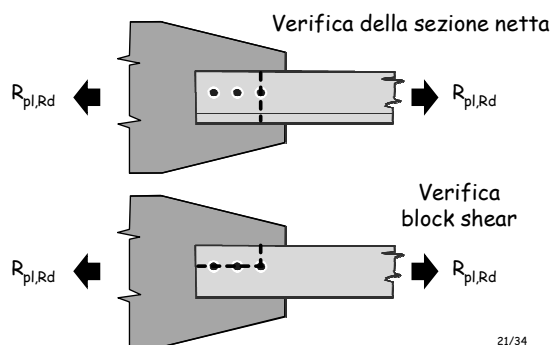
$R_{pl,Rd}$ è la resistenza plastica di progetto della membratura collegata;

$R_{u,Rd}$ è il limite superiore della resistenza plastica della membratura collegata.

Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento



Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento nelle parti tese

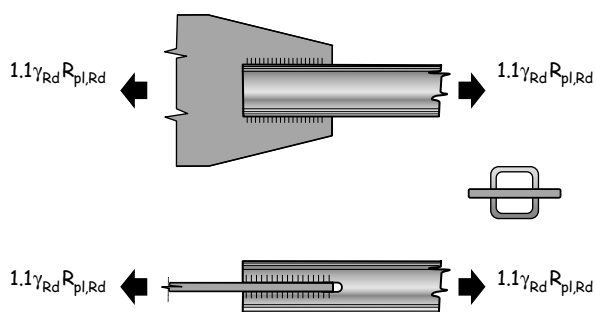


Particolari di collegamento

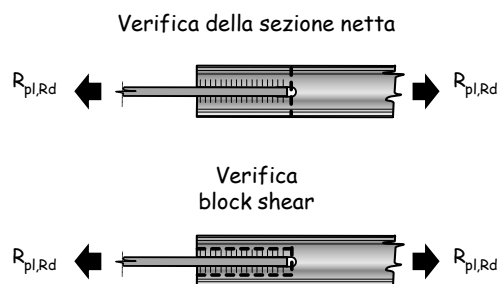


Preparazione dei profili scatolari per il collegamento

Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento



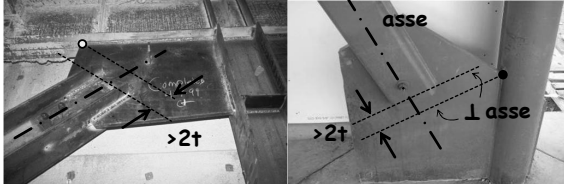
Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento nelle parti tese



Progetto del collegamento dei controventi

Per garantire una elevata duttilità di piano la distanza tra l'ortogonale all'asse dell'elemento passante per il suo estremo e la parallela passante per l'intersezione del fazzoletto con la colonna (o trave) dovrebbe essere almeno pari a 2 volte lo spessore del fazzoletto.

In tal modo si vuole indurre la formazione di una cerniera plastica nel fazzoletto all'estremità dell'asta diagonale

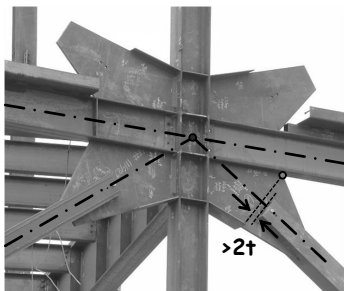


Progetto del collegamento dei controventi



26/34

Progetto del collegamento dei controventi



27/34

Rapporti di Sovreresistenza dei Controventi

Sovreresistenza del controvento del piano i:

$$\Omega_i = \frac{N_{pl,Rd}}{N_{Ed}}$$

Per garantire un comportamento dissipativo omogeneo delle diagonali all'interno della struttura è richiesto che

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} \leq 1,25$$

Attenzione !

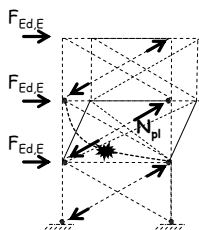
$N_{pl,Rd}$ è la resistenza di progetto della diagonale:

Controventi a diagonale tesa attiva: $N_{pl,Rd}$

Controventi a V: $N_{b,Rd}$

28/34

Rapporti di Sovreresistenza dei Controventi



$$\Omega > 1,25$$

$$\Omega = 1$$

$$\Omega > 1,25$$

La dissipazione è significativa solo a pochi piani

29/34

Progetto di travi e colonne: Sollecitazioni di progetto

Travi e colonne (soggette prevalentemente a sforzi assiali) in condizioni di sviluppo del meccanismo dissipativo previsto devono rispettare la condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}(M_{Ed})} \leq 1$$

$N_{pl,Rd}$ è la resistenza nei confronti dell'instabilità in presenza il valore di progetto del momento

N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale nell'elemento $N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{Rd}\Omega N_{Ed,E}$

Ω è il minimo dei coefficienti di sovreresistenza dei controventi

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.5

30/34

Il coefficiente di sovrarresistenza del materiale

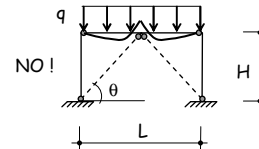
γ_{Rd} è il rapporto fra il valore medio $f_{y,m}$ della tensione di snervamento e il valore caratteristico f_{yk} nominale. In assenza di valutazioni specifiche:

Acciaio	γ_{Rd}
S 235	1.20
S 275	1.15
S 355	1.10
S 420	1.10
S 460	1.10

Progetto delle Travi nella tipologia a V

Le travi devono resistere agli effetti :

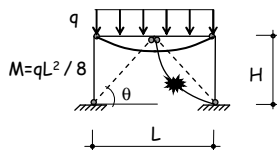
- delle azioni di natura non sismica senza considerare il supporto dato dalle diagonali



Progetto delle Travi nella tipologia a V

Le travi devono resistere agli effetti :

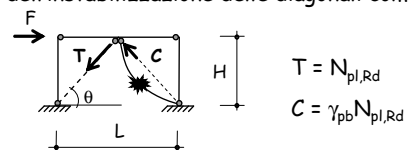
- delle azioni di natura non sismica senza considerare il supporto dato dalle diagonali



Progetto delle Travi nella tipologia a V

Le travi devono resistere agli effetti :

- delle forze verticali squilibrate che si sviluppano a seguito della plasticizzazione delle diagonali tese e dell'instabilizzazione delle diagonali compresse.



$\gamma_{pb}=0.3$ è il fattore che permette di stimare la resistenza residua dopo l'instabilizzazione.