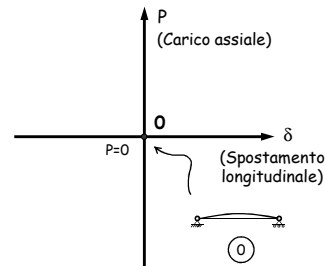


**Problemi specifici nel progetto di strutture
antisismiche in acciaio**

6 - Strutture con controventi concentrici tradizionali
Criteri di progetto

Spoletto
11-12 maggio 2012
Aurelio Ghersi

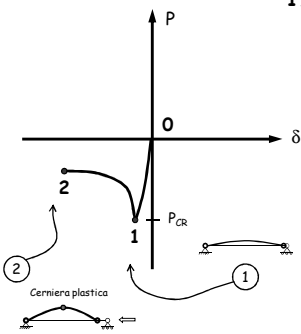
**Comportamento ciclico
del controvento**



0. Si consideri un'asta
imperfetta, ovvero dotata
di inflessione iniziale,
sottoposta ad un ciclo di
spostamenti longitudinali

Nella configurazione iniziale
l'asta non presenta
spostamenti longitudinali e
quindi sforzo normale.
Essa presenta, tuttavia,
uno spostamento trasversale
in mezzzeria.

**Comportamento ciclico
del controvento**

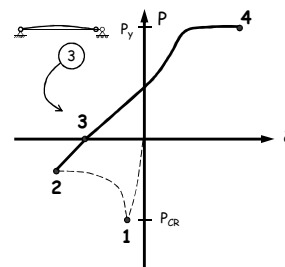


1. Sottoposta ad un accorciamento
crescente, l'asta si instabilizza
Lo sforzo normale corrispondente
all'attivazione del fenomeno di
instabilizzazione è detto
"carico critico"

2. Se si aumenta l'accorciamento
dell'asta, lo sforzo normale
decade rapidamente

Gradualmente si forma una
cerniera plastica in mezzzeria,
in virtù del momento flettente
che nasce per effetto
dell'inflessione dell'asta

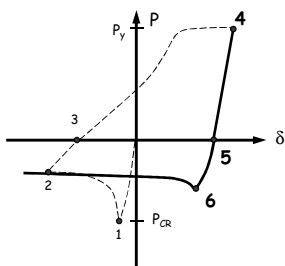
**Comportamento ciclico
del controvento**



3. Se si riduce
l'accorciamento dell'asta,
si nota che ad un sforzo
normale nullo
corrispondono
deformazioni permanenti
non nulle

4. Sollecitata a trazione,
l'asta giunge alla
plasticizzazione

**Comportamento ciclico
del controvento**



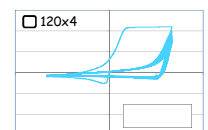
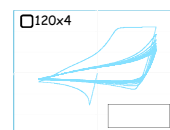
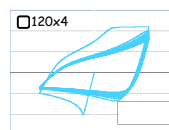
5. Se si riduce l'allungamento
dell'asta, si nota che
ad un sforzo normale nullo
corrispondono
deformazioni permanenti
non nulle

6. Sollecitata a compressione,
l'asta perviene
all'instabilità in
corrispondenza di un carico
inferiore a quello di prima
instabilizzazione

**Comportamento ciclico
del controvento**

- Il comportamento qualitativo indicato in precedenza
risente molto della snellezza dell'asta

Scatolari 120x4
di diversa snellezza



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

Definizione del fattore di struttura (q_0)

	CD "B"	CD "A"
Strutture a telaio, con controventi eccentrici	4.0	$5.0 \alpha_u / \alpha_1$
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	$2.0 \alpha_u / \alpha_1$
Strutture intelaiate con controventi concentrici	4.0	$4.0 \alpha_u / \alpha_1$
Strutture intelaiate con tamponature in muratura	2.0	2.0

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.2.2

Progetto dei controventi

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

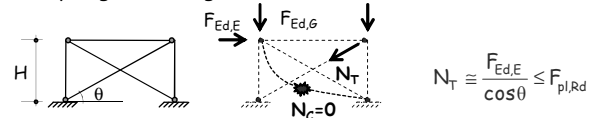
Ai fini della resistenza alle azioni sismiche vanno considerate

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

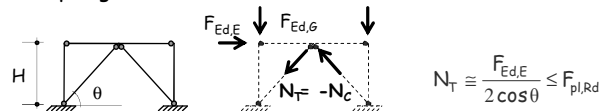
D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni 7.5.2.1

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

Progetto dei controventi

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

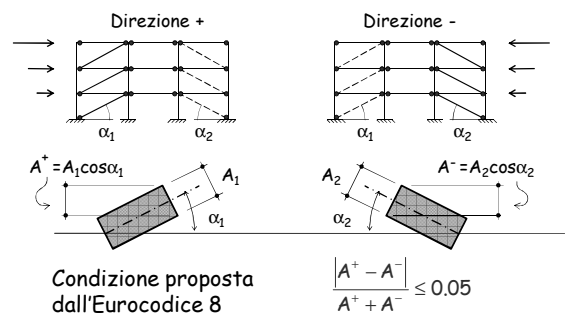
L'Eurocodice 8 suggerisce di progettare i controventi in modo che

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

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

Progetto dei controventi



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

Spessori limite dei profili

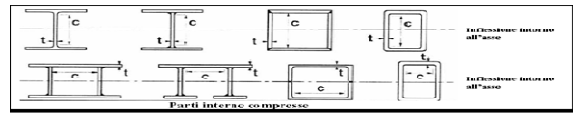
REGOLA GENERALE (per tutte le strutture in acciaio)
per parti compresse e/o inflesse delle zone dissipative

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

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 $\alpha > 0.5$ se $\alpha \leq 0.5$ $c/t \leq 396 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ $c/t \leq 36 \epsilon / \alpha$
2	$c/t \leq 83 \epsilon$	$c/t \leq 38 \epsilon$	se $\alpha > 0.5$ se $\alpha \leq 0.5$ $c/t \leq 456 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ $c/t \leq 41.5 \epsilon / \alpha$

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

Spessori limite dei profili

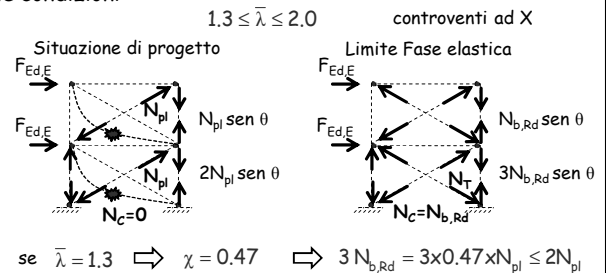
Regola specifica per strutture in acciaio con controventi concentrici

- 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

Snellezze limite dei controventi

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



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

Snellezze limite dei controventi

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

$$1.3 \leq \bar{\lambda} \leq 2.0 \quad \text{controventi ad X}$$

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

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

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

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

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

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:

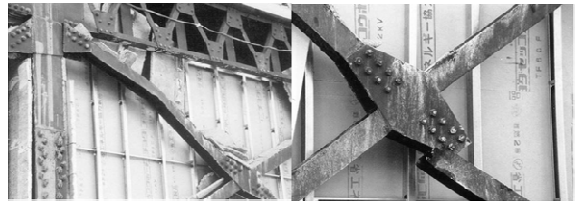
$$\frac{A_{res}}{A} \geq 1.1 \frac{f_y}{f_{tk}} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

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.

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni 7.5.3.3

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

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni 7.5.3.3

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:

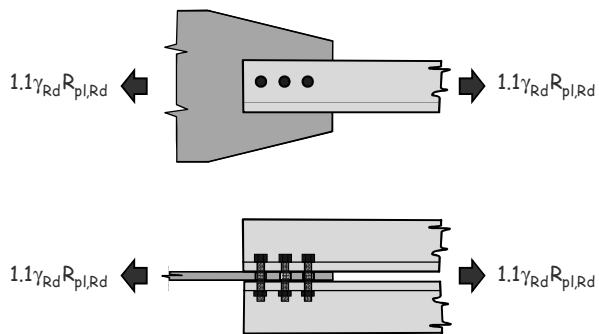
$$R_{j,d} \geq 1.1 \gamma_{Rd} R_{pl,Rd} = R_{u,Rd}$$

dove:

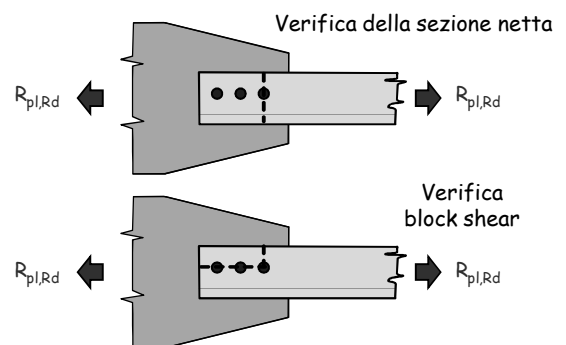
- R_{j,d} è la resistenza di progetto del collegamento;
- R_{pl,Rd} è la resistenza plastica di progetto della membratura collegata;
- R_{u,Rd} è il limite superiore della resistenza plastica della membratura collegata.

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni 7.5.3.3

Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento



Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento nelle parti tese

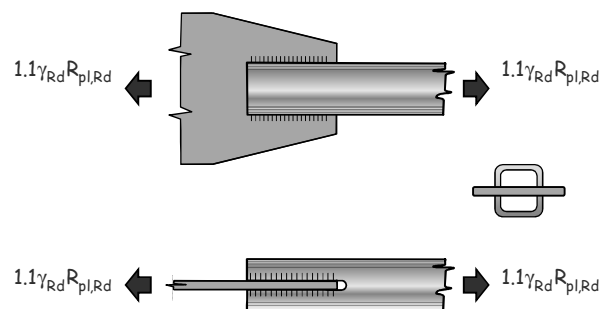


Particolari di collegamento



Preparazione dei profili scatolari per il collegamento

Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento



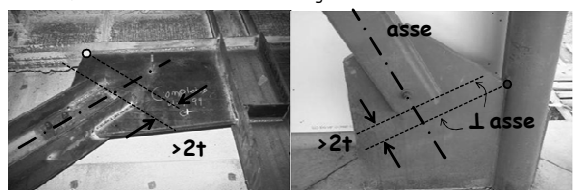
Collegamenti in zone dissipative Esempi di collegamento nelle parti tese



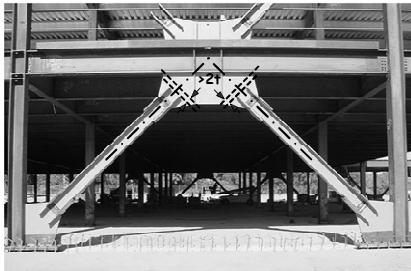
Progetto del collegamento dei controventi

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.

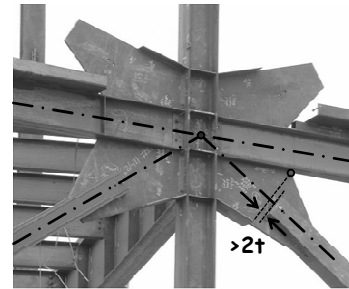
In tal modo si vuole indurre la formazione di una cerniera plastica nel fazzoletto all'estremità dell'asta diagonale



Progetto del collegamento dei controventi



Progetto del collegamento dei controventi



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

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

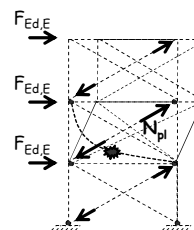
Attenzione !

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

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

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

Rapporti di Sovreresistenza dei Controventi



$\Omega > 1.25$

$\Omega = 1$

$\Omega > 1.25$

La dissipazione è significativa solo a pochi piani

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

Il coefficiente di sovreresistenza 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:.

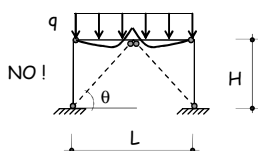
Acciaio	γ_{Rd}
S 235	1.20
S 275	1.15
S 355	1.10
S 420	1.10
S 460	1.10

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.1

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

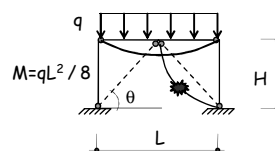


D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.5

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

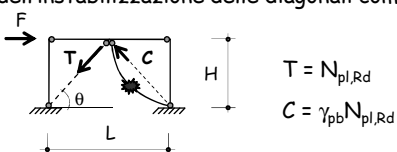


D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni - 7.5.5

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.



$$T = N_{pl,Rd}$$

$$C = \gamma_{pb} N_{pl,Rd}$$

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

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