

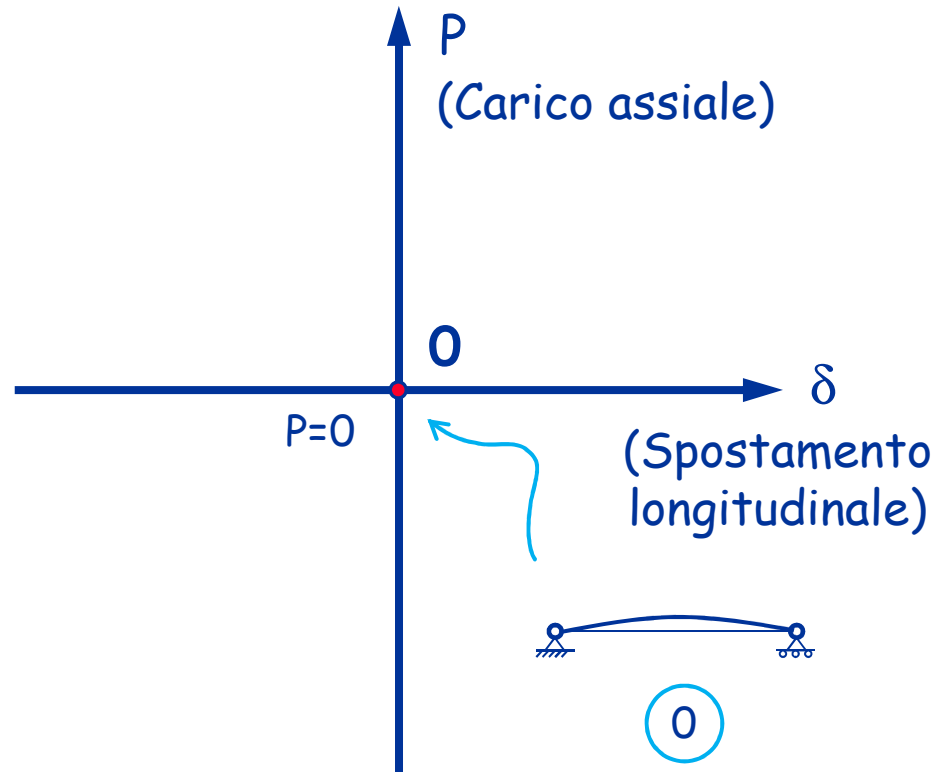
Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

**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

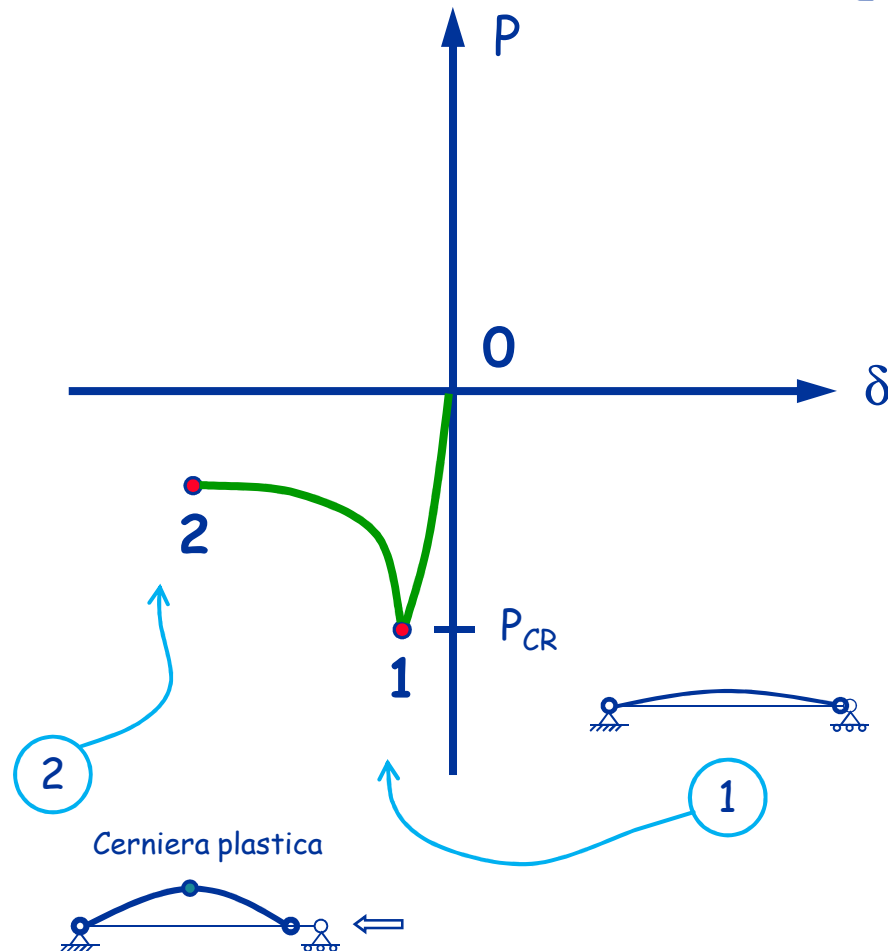


0. Si consideri un'asta imperfetta, ovvero dotata di inflessione iniziale, sottoposta ad un ciclo di spostamenti longitudinali

Nella configurazione iniziale l'asta non presenta spostamenti longitudinali e quindi sforzo normale.

Essa presenta, tuttavia, uno spostamento trasversale in mezzeria.

# Comportamento ciclico del controvento

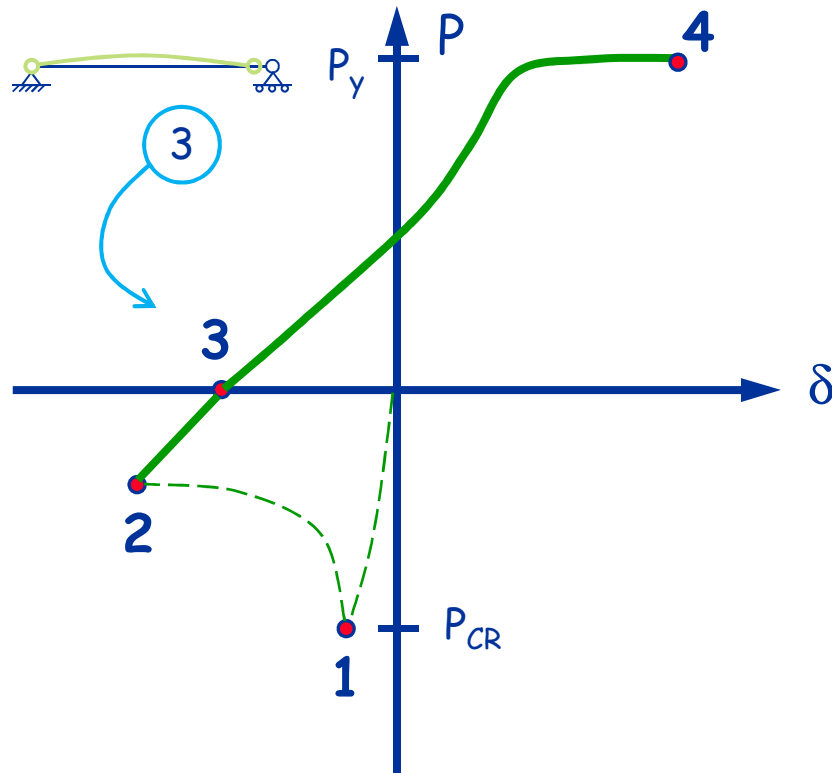


1. Sottoposta ad un accorciamento crescente, l'asta si instabilizza  
Lo sforzo normale corrispondente all'attivazione del fenomeno di instabilizzazione è detto "carico critico"

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

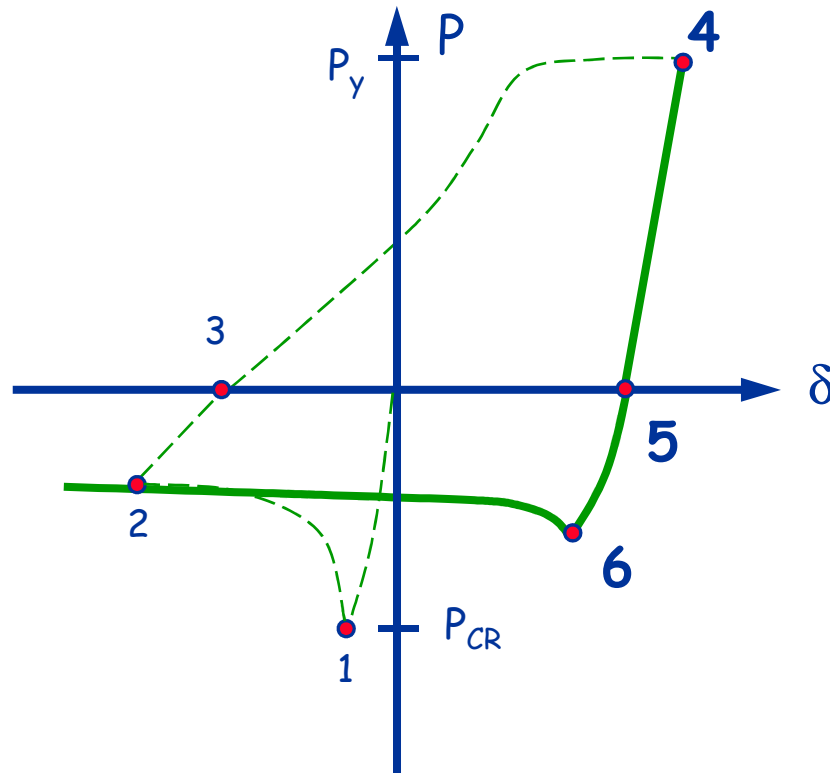
← Gradualmente si forma una cerniera plastica in mezzeria, in virtù del momento flettente che nasce per effetto dell'inflessione dell'asta

# 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

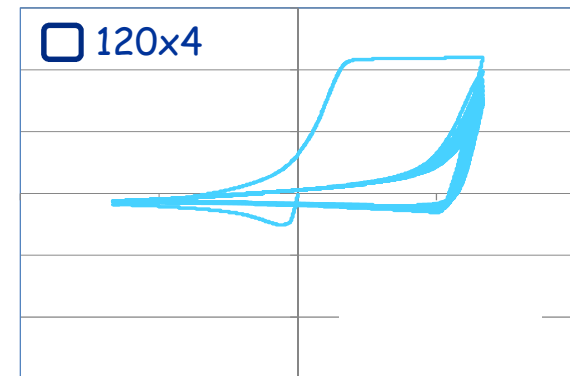
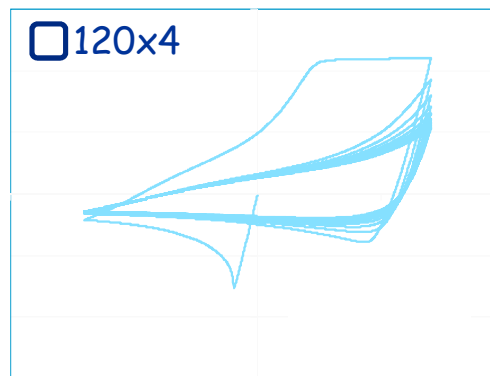
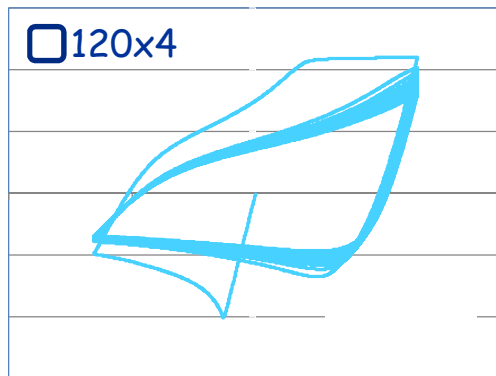


5. Se si riduce l'allungamento dell'asta, si nota che ad un sforzo normale nullo corrispondono deformazioni permanenti non nulle
6. Sollecitata a compressione, l'asta perviene all'instabilità in corrispondenza di un carico inferiore a quello di prima instabilizzazione

# 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 sovraresistenza della struttura
5. della regolarità in pianta della struttura

$K_R$  dipende dalla regolarità in altezza della struttura

# 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



# Progetto dei controventi

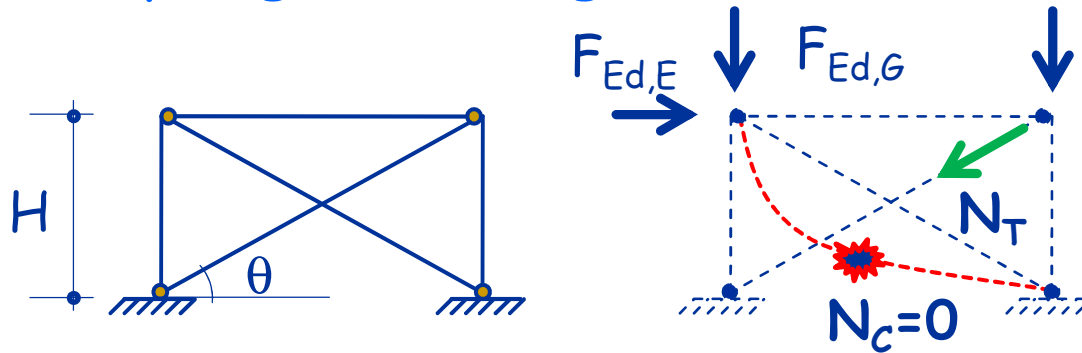
Le diagonali sono destinate a sviluppare un comportamento inelastico e dunque a dissipare energia.

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)

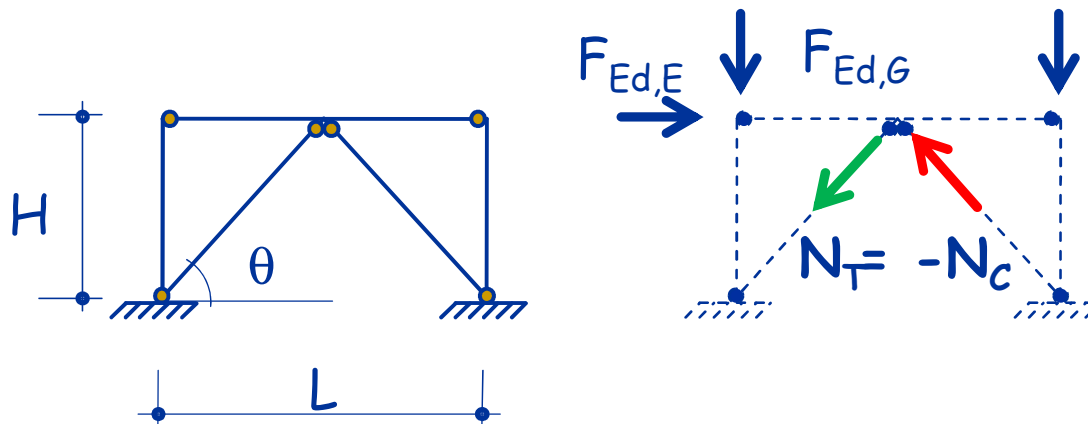
# Progetto dei controventi

## Tipologia con diagonale tesa attiva



$$N_T \cong \frac{F_{Ed,E}}{\cos \theta} \leq F_{pl,Rd}$$

## Tipologia con controventi a V



$$N_T \cong \frac{F_{Ed,E}}{2 \cos \theta} \leq F_{pl,Rd}$$

# Progetto dei controventi

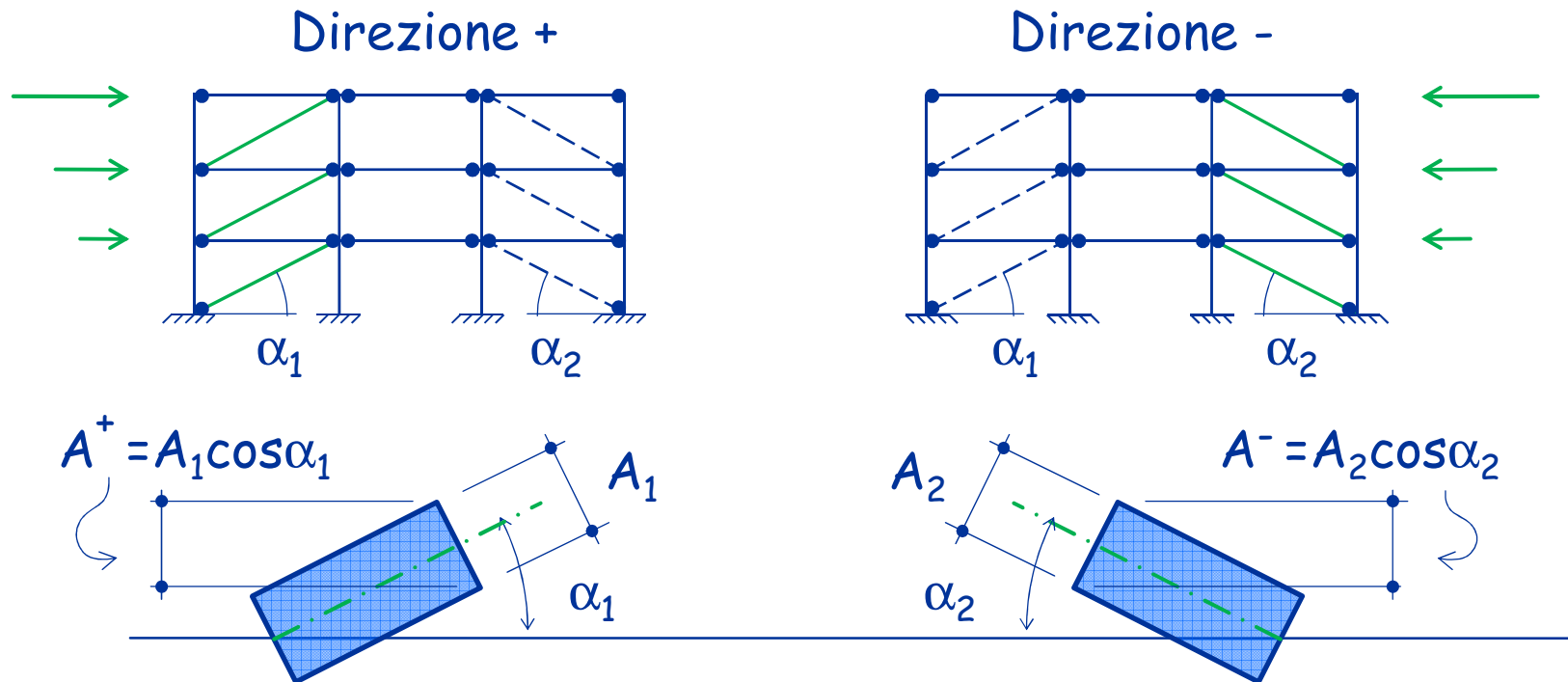
La risposta carico-spostamento laterale deve risultare sostanzialmente indipendente dal verso dell'azione sismica.

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

# Progetto dei controventi



Condizione proposta  
dall'Eurocodice 8

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

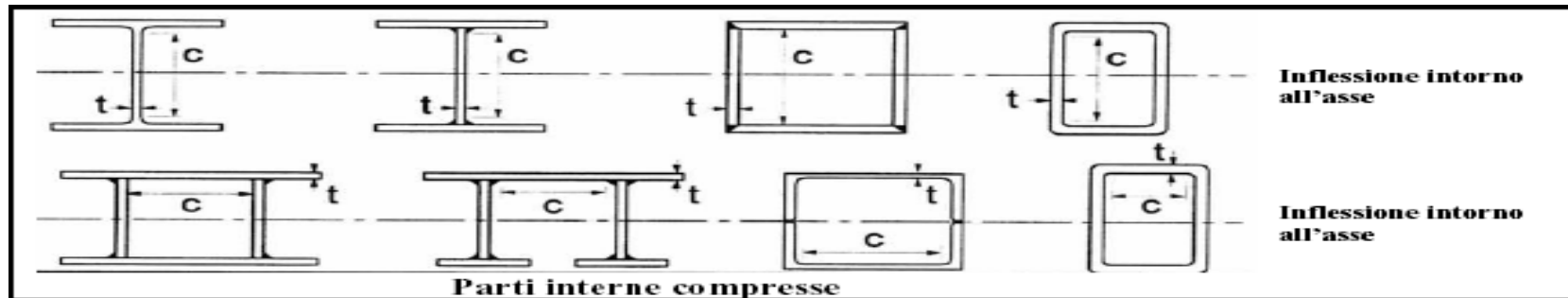
# Spessori limite dei profili

**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

# 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	$c/t \leq 72 \varepsilon$	$c/t \leq 33 \varepsilon$	$\text{se } \alpha > 0.5 \quad c/t \leq 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1)$ $\text{se } \alpha \leq 0.5 \quad c/t \leq 36 \varepsilon / \alpha$
2	$c/t \leq 83 \varepsilon$	$c/t \leq 38 \varepsilon$	$\text{se } \alpha > 0.5 \quad c/t \leq 456 \varepsilon / (13 \alpha - 1)$ $\text{se } \alpha \leq 0.5 \quad c/t \leq 41.5 \varepsilon / \alpha$

# 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

$$b/t \leq 18$$

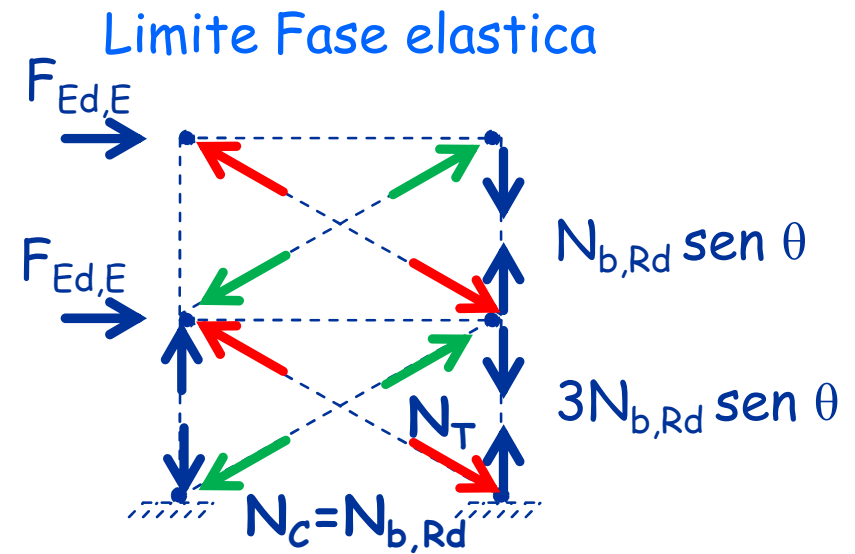
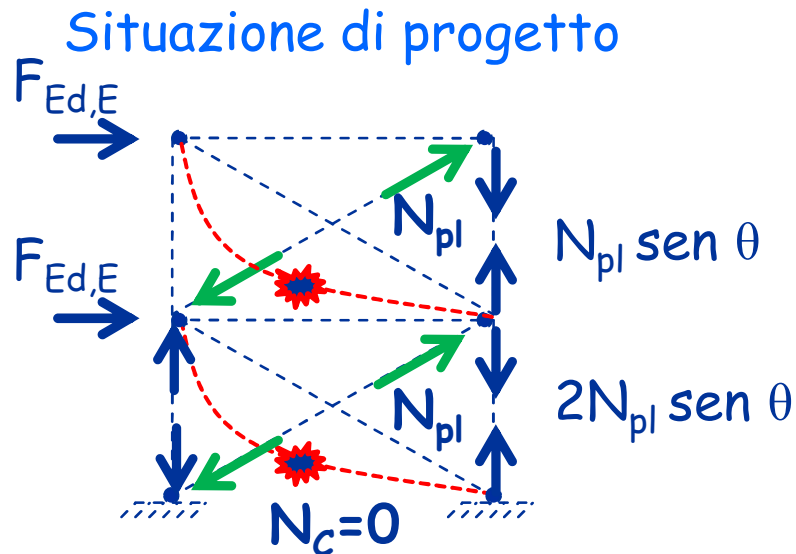
- b larghezza delle parti che costituiscono la sezione
- t spessore delle parti che costituiscono la sezione

# 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



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



# 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.

# Snellezze limite dei controventi

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

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

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".

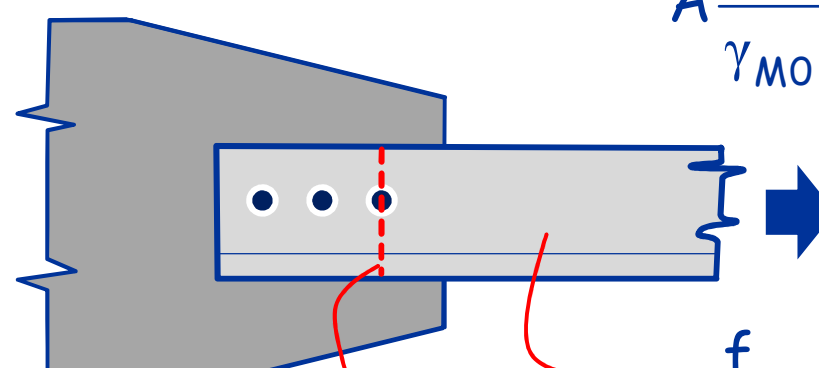


Gli elementi strutturali differenti dalle diagonali  
devono essere progettati sulla base delle massime  
azioni sviluppabili dalle diagonali

# 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:



The diagram illustrates a bolted connection between a plate and a gusset plate. A horizontal plate with three bolt holes is connected to a vertical gusset plate. A red dashed vertical line indicates the critical section for ultimate resistance, passing through the first hole. A red bracket below this section is labeled  $0.9 A_{res} \frac{f_{tk}}{\gamma_{M2}}$ . A red bracket below the full plate width is labeled  $A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ . A blue arrow labeled  $N_{Ed}$  points to the right, representing the design tensile force.

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

# 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 ;

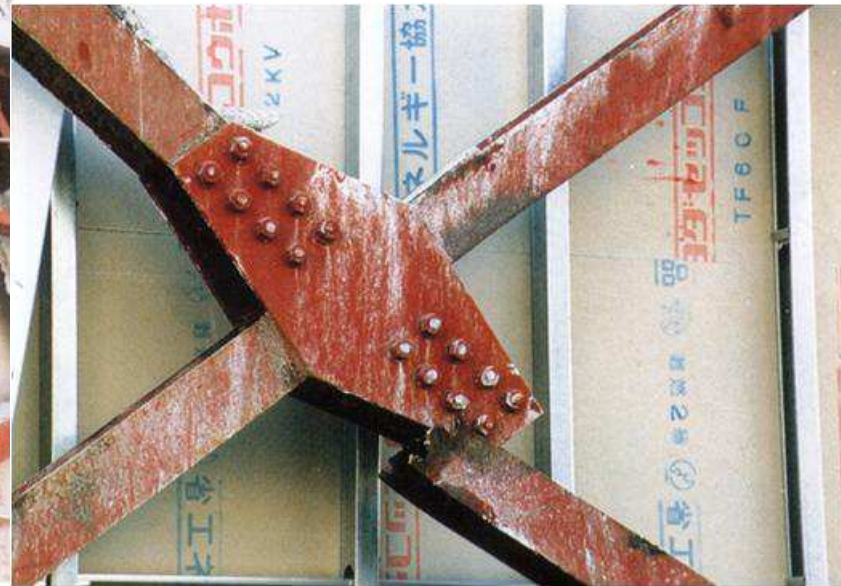
$A_{res}$  l'area resistente costituita dall'area netta in  
corrispondenza dei fori di rinforzo ;

$\gamma_{M0} \ \gamma_{M2}$  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;

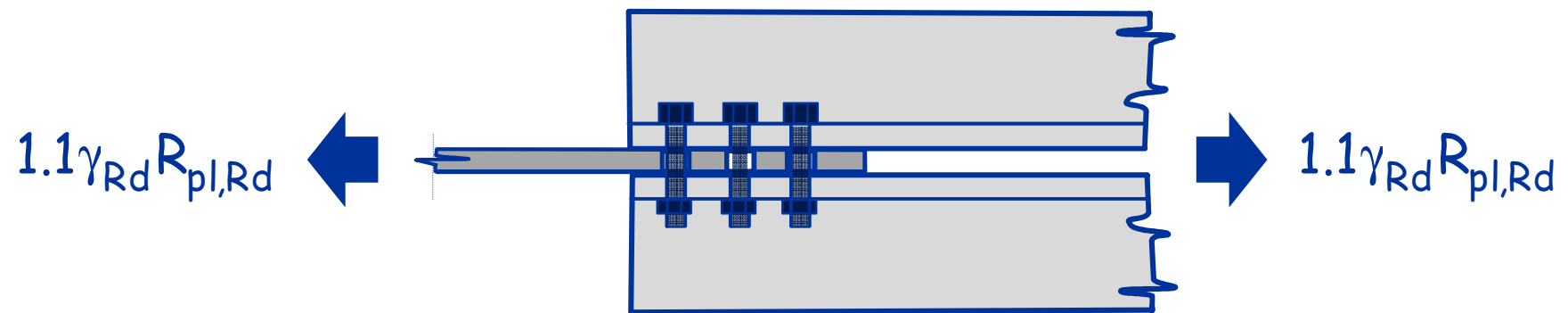
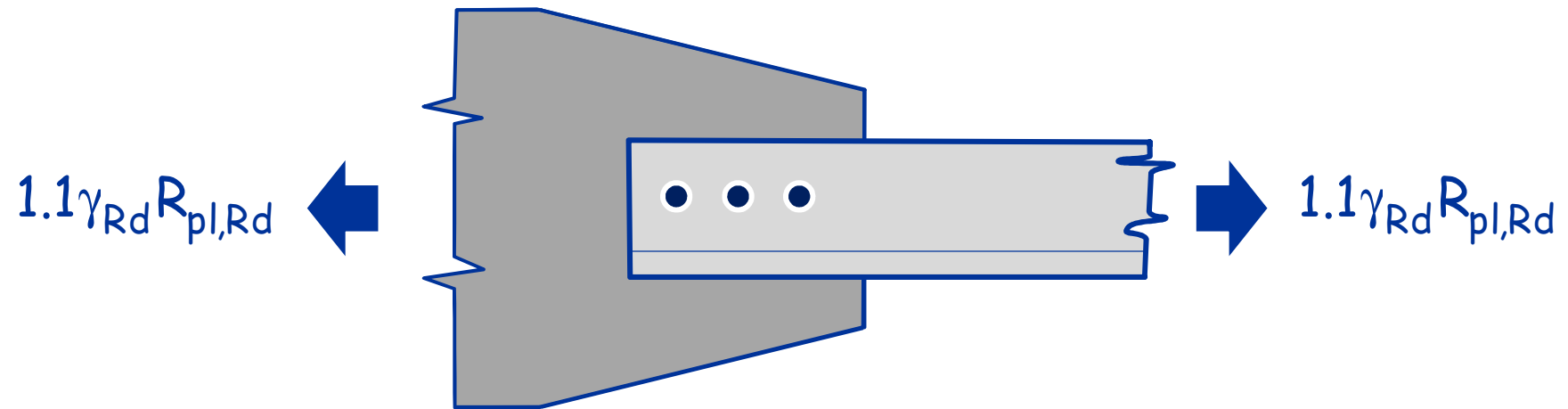
$R_{pl,Rd}$  è la resistenza plastica di progetto della membratura collegata;

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



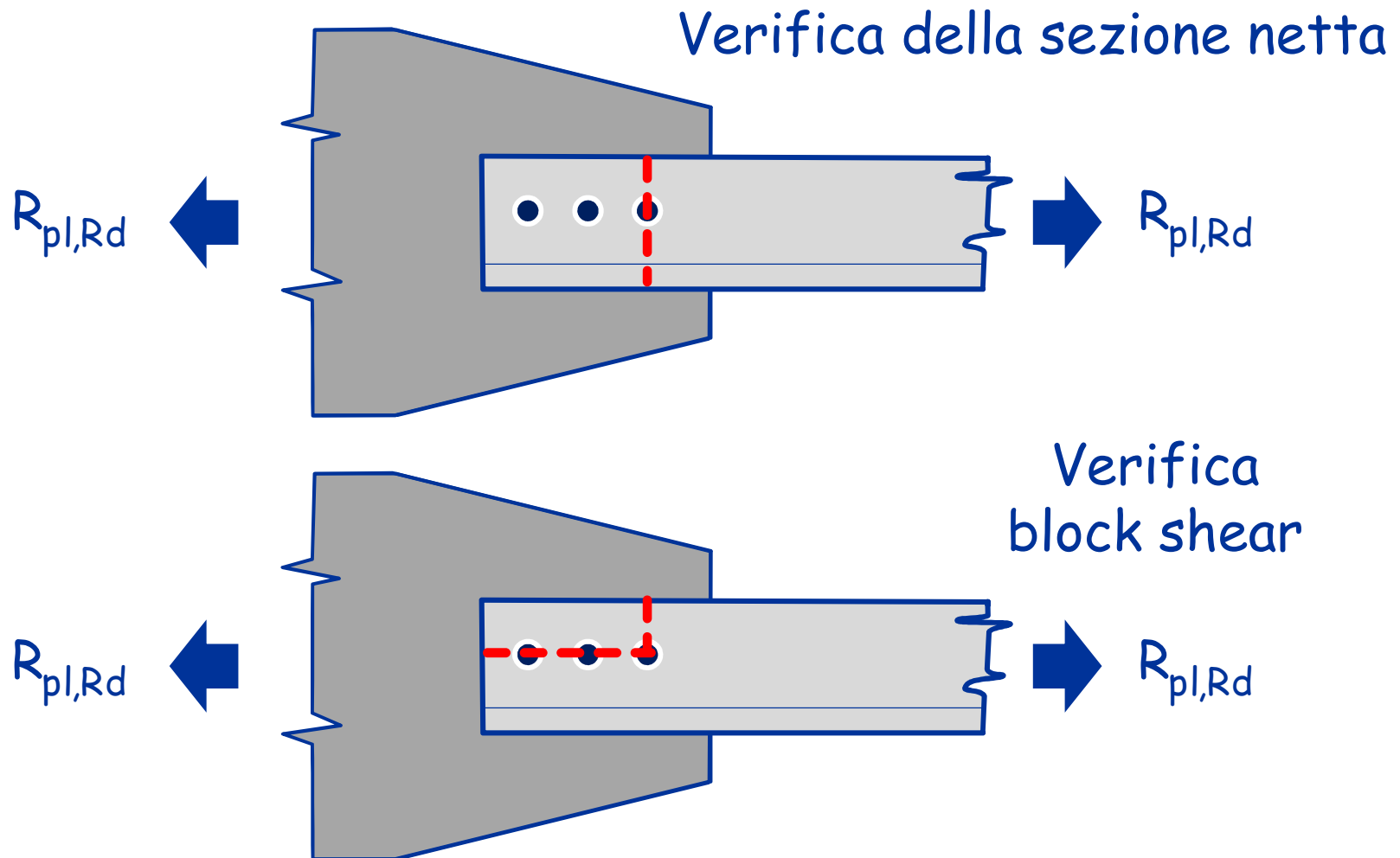
# Collegamenti in zone dissipative

## Esempi di collegamento



# Collegamenti in zone dissipative

## Esempi di collegamento nelle parti tese



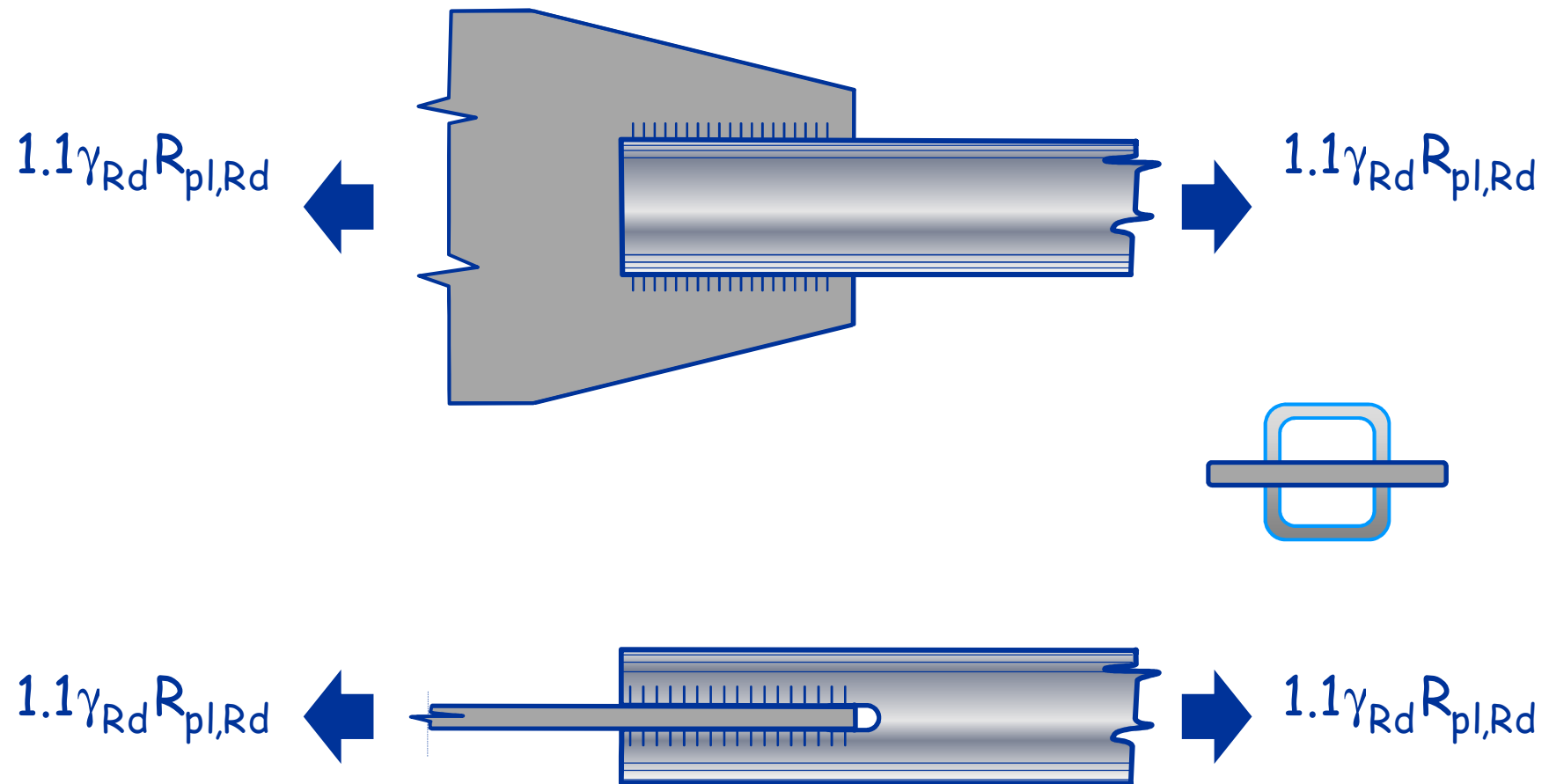
## Particolari di collegamento



Preparazione dei profili scatolari per il collegamento

# Collegamenti in zone dissipative

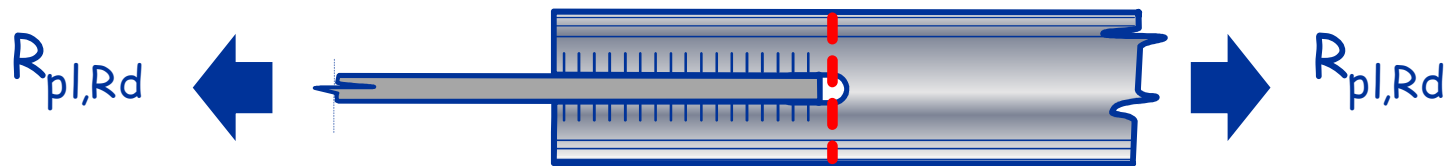
## Esempi di collegamento



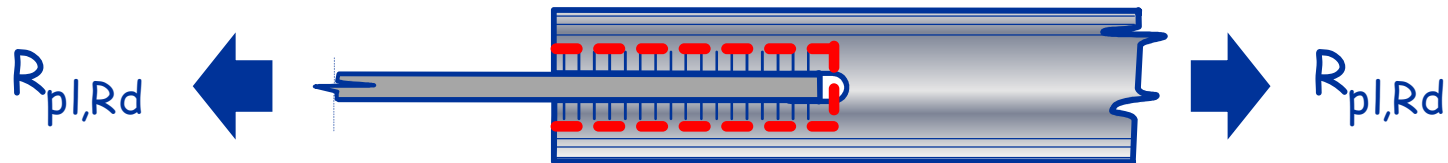
# Collegamenti in zone dissipative

## Esempi di collegamento nelle parti tese

Verifica della sezione netta



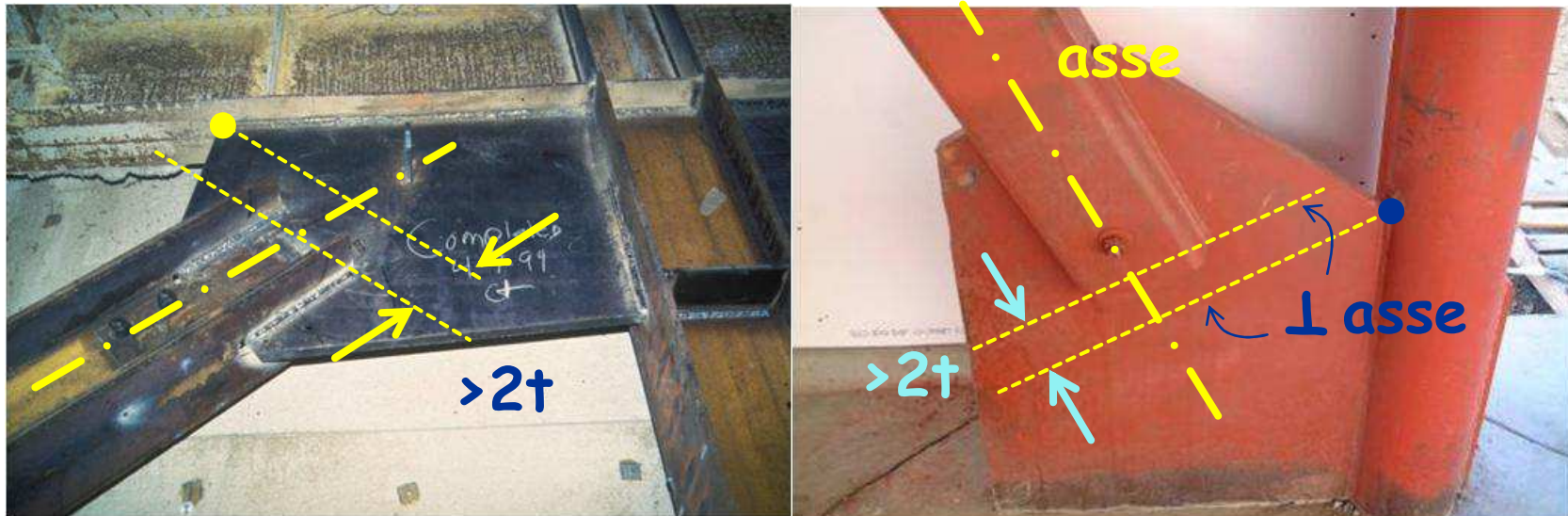
Verifica  
block shear



# 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

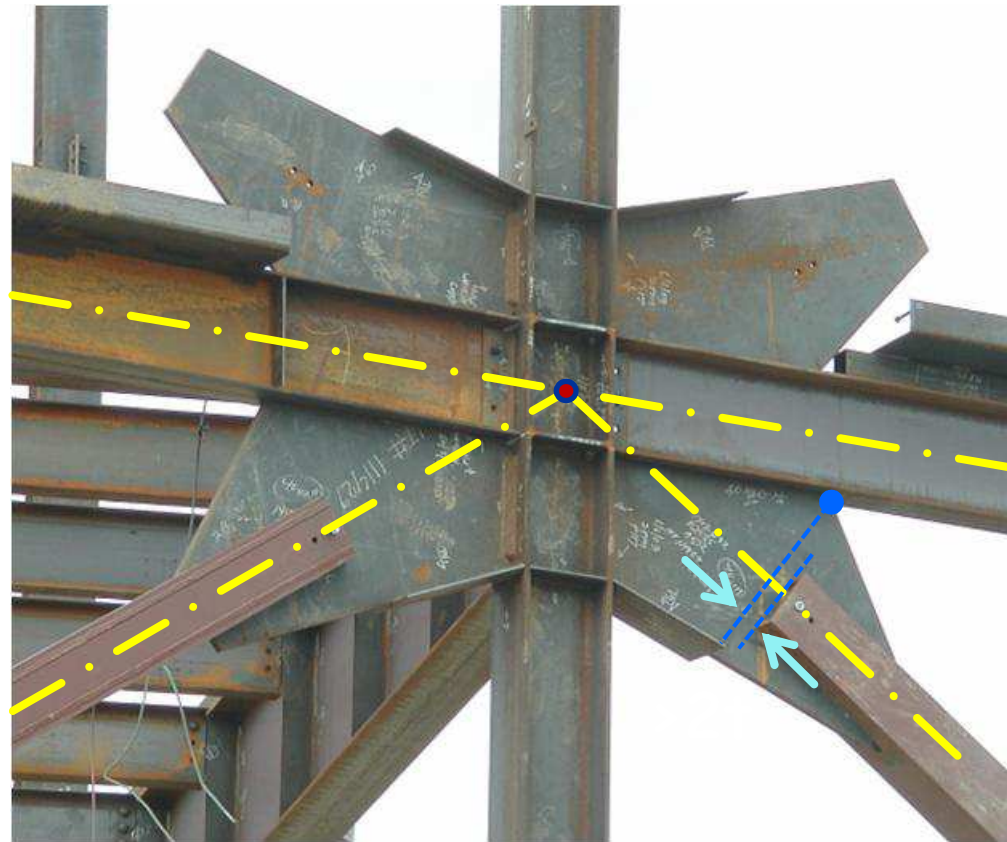




# Progetto del collegamento dei controventi



# 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

$$\frac{\Omega_{\max}}{\Omega_{\min}} \leq 1.25$$

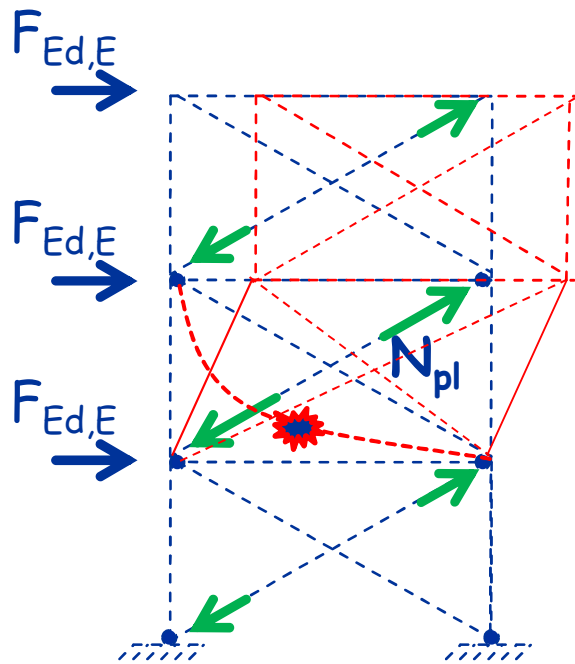
**Attenzione !**

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

$\Omega$  è il minimo dei coefficienti di sovraresistenza dei controventi

# Il coefficiente di sovrarresistenza del materiale

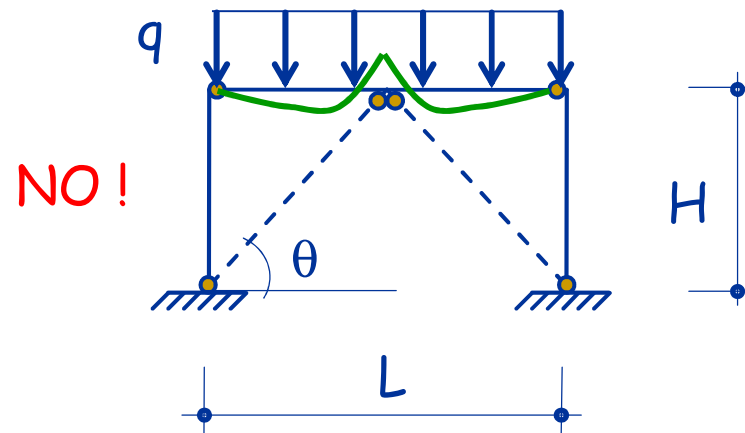
$\gamma_{Rd}$ , è il rapporto fra il valore medio  $f_{y,m}$  della tensione di snervamento e il valore caratteristico  $f_{yk}$  nominale.  
In assenza di valutazioni specifiche:

Acciaio	$\gamma_{Rd}$
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 :

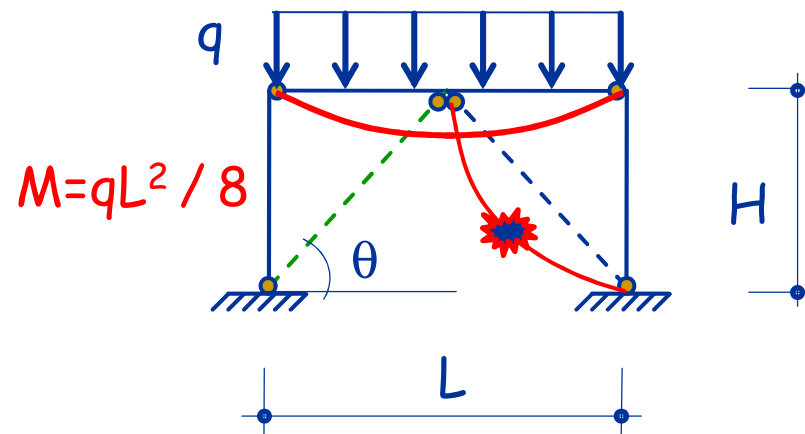
- delle azioni di natura non sismica senza considerare il supporto dato dalle diagonali



# Progetto delle Travi nella tipologia a V

Le travi devono resistere agli effetti :

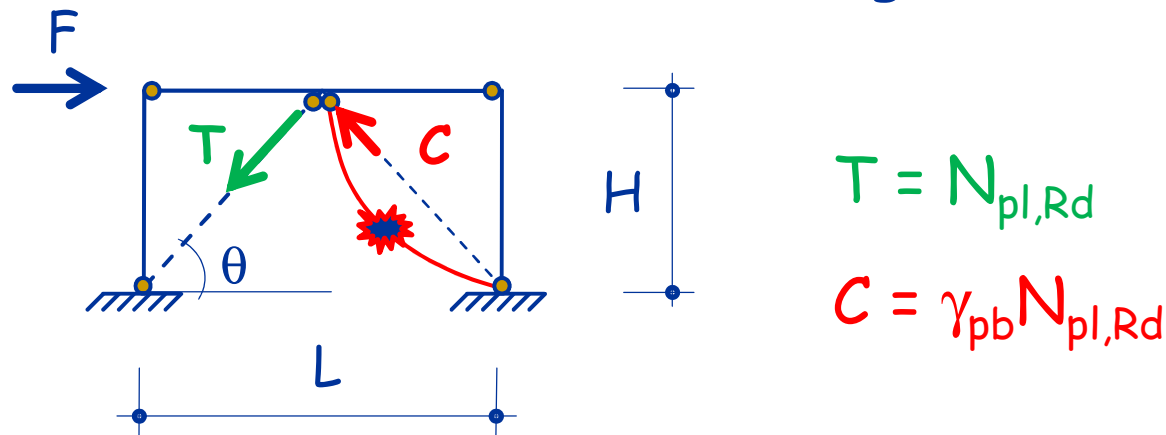
- delle azioni di natura non sismica  
senza considerare il supporto dato dalle diagonali



# Progetto delle Travi nella tipologia a V

Le travi devono resistere agli effetti :

- delle forze verticali squilibranti 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.