

Corso di aggiornamento

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

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

8 - Strutture con controventi eccentrici tradizionali  
Criteri di progetto

Imola

24-25 giugno 2011

Melina Bosco

# Classificazione dei controventi in acciaio

## 1. STRUTTURE CON CONTROVENTI CONCENTRICI

Il controvento è costituito da un telaio controventato con diagonali che convergono in :

- nodi trave-colonna
- punti di travi o colonne in cui convergono altre diagonali.

# Classificazione dei controventi in acciaio

## 1. STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

Il controvento è costituito da un telaio controventato con diagonali che **non convergono** (ad entrambe le estremità):

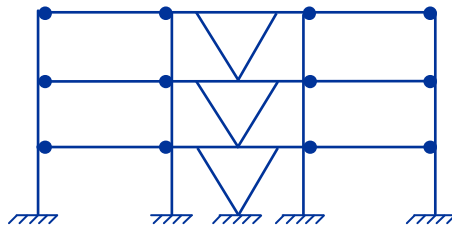
- in un nodo trave-colonna
- in punti di travi o colonne in cui converge un'altra diagonale.

# Classificazione dei controventi in acciaio

## 1. STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

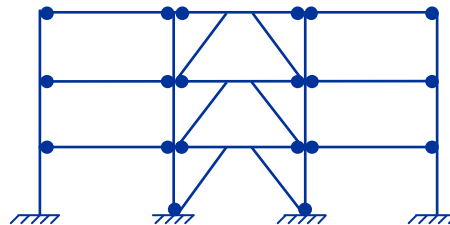
Le intersezioni delle diagonali con la trave individuano conci denominati Link

Caso 1



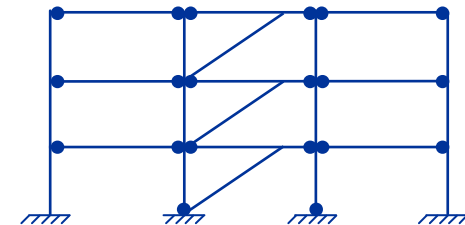
Link  
orizzontale

Caso 2



Link  
orizzontale

Caso 3



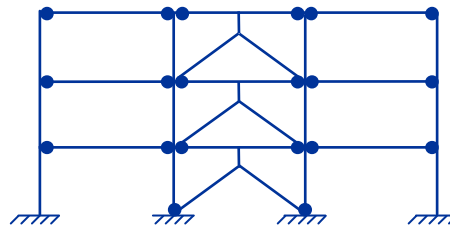
Link  
orizzontale

# Classificazione dei controventi in acciaio

## 1. STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

Le intersezioni delle diagonali con la trave individuano conci denominati Link

Caso 4



Link verticale

# Strutture con Controventi Eccentrici: Esempi



Controventi eccentrici nella  
tipologia a K



Controventi eccentrici nella  
tipologia a D



# Strutture con Controventi Eccentrici: Esempi



Controventi eccentrici nella tipologia a K

# 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

Per edifici regolari in pianta, a più piani e con controventi eccentrici  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2$



# Spessori limite dei profili

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

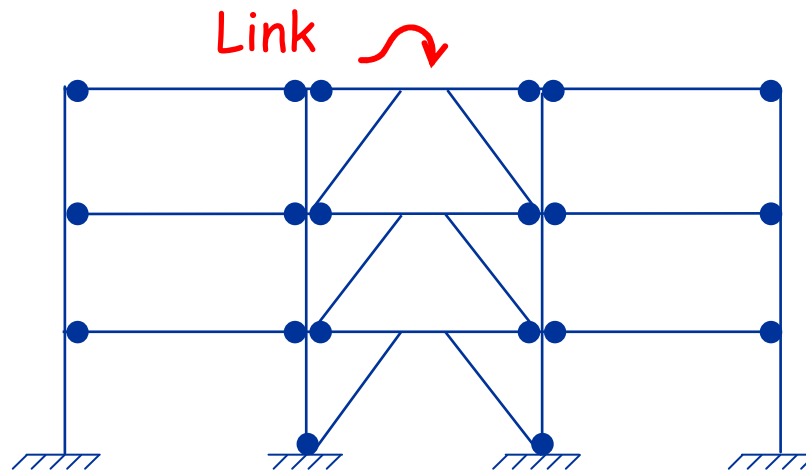
Garantire una duttilità locale sufficiente degli elementi che dissipano energia in compressione e/o flessione limitando il rapporto larghezza-spessore  $b/t$  secondo le classi di sezioni trasversali specificate nelle presenti norme, in funzione della classe di duttilità e del fattore di struttura  $q_0$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

# Strutture con controventi eccentrici

I controventi eccentrici dividono le travi dei telai in due o più parti.

L'«elemento di connessione» o «link», ha il compito di dissipare l'energia sismica attraverso deformazioni plastiche cicliche taglienti e/o flessionali.



# Configurazione geometrica del telaio con controventi eccentrici

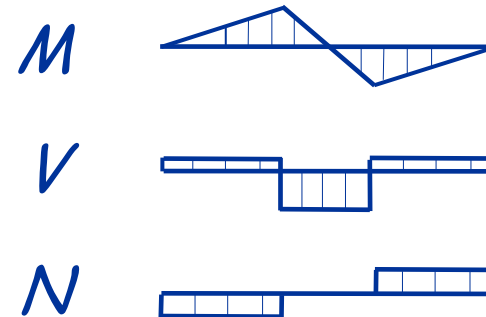
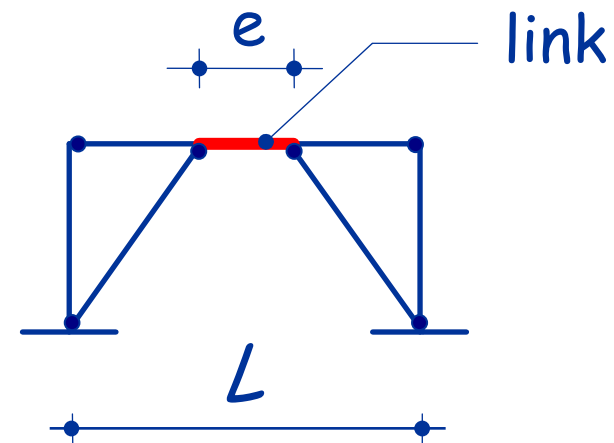
## Tipologia a K

### Vantaggi:

Il link non presenta collegamenti alle estremità (è parte della trave)

### Svantaggi:

Richiede lunghezze non piccole della campata controventata.



# Configurazione geometrica del telaio con controventi eccentrici

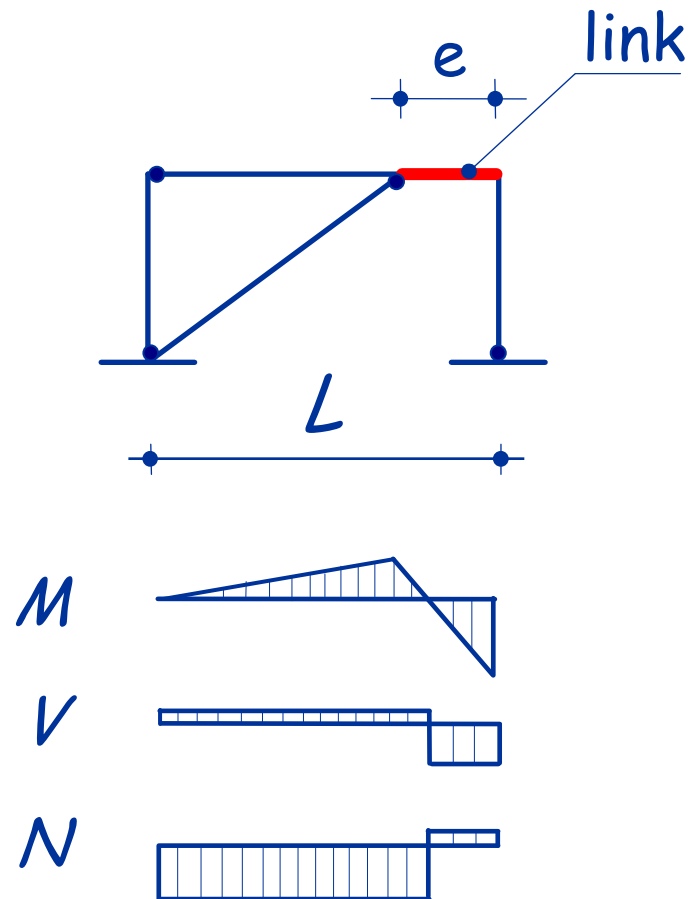
## Tipologia a D

### Vantaggi:

Non sono richieste lunghezze elevate della campata controventata.

### Svantaggi:

- Il link e' soggetto anche a sforzo normale.
- Il collegamento del link alla colonna rappresenta il punto debole nel meccanismo resistente del link.



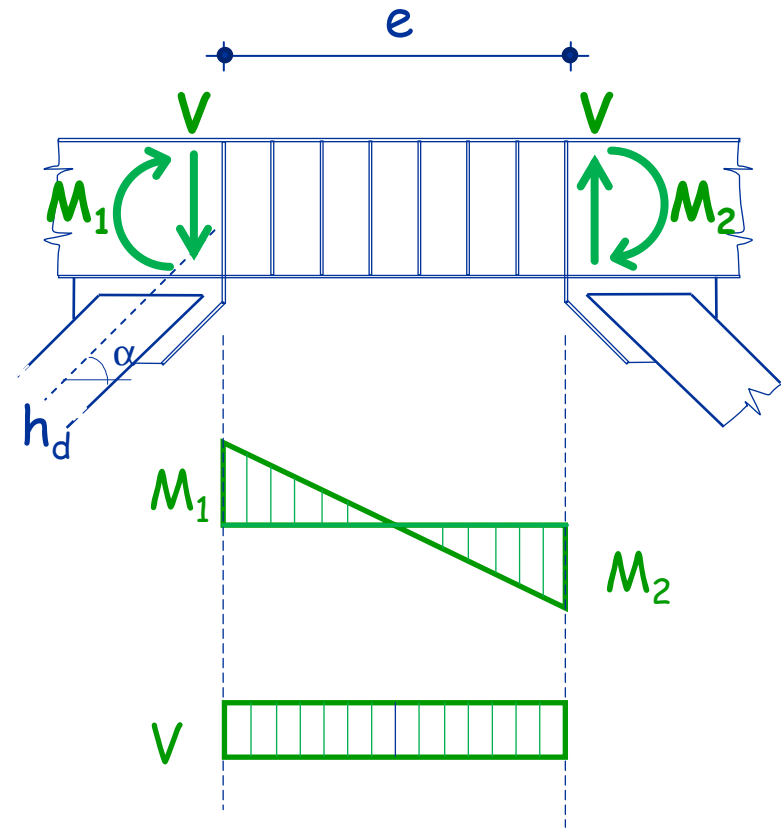
# Caratteristiche della sollecitazione nei link

Le caratteristiche della sollecitazione sono collegate da una relazione di equilibrio alla rotazione

$$V = \frac{M_1 + M_2}{e}$$

Nella tipologia a K  
(se si trascurano i momenti da carichi verticali) si ha:

$$V = \frac{2 M}{e}$$



# Sollecitazione plastiche dei link

Il link si plasticizza per taglio o per flessione ?

Se :

$$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} < \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$$

il link si plasticizza per taglio

$$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} = \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$$

il link si plasticizza contemporaneamente per taglio e per flessione

$$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} > \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$$





il link si plasticizza per flessione



# Sollecitazione plastiche dei link

In virtù della relazione di equilibrio

$$V = \frac{2 M}{e}$$

$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} < \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$		$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} < \frac{2 M_{pl,Rd}}{e V_{Ed}}$		$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} < 2$
$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} = \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$				$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} = 2$
$\frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}} > \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$				$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} > 2$

# Sollecitazione plastiche dei link

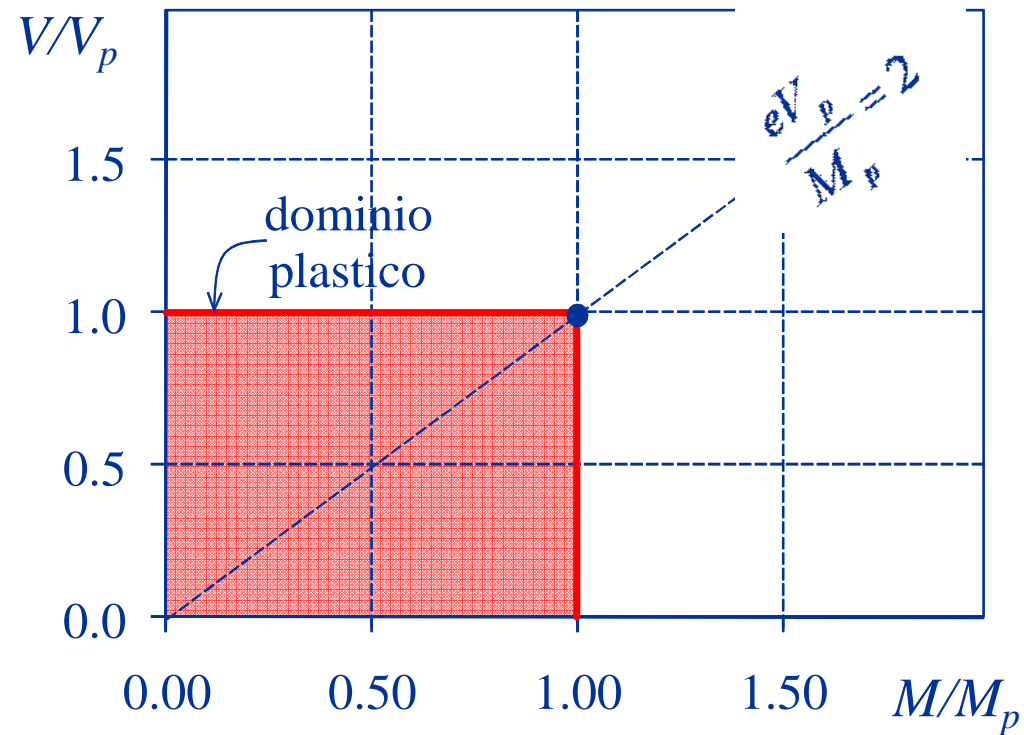
Il valore delle caratteristiche della sollecitazione corrispondenti alla piena plasticizzazione della sezione e' influenzato in modo trascurabile dall'interazione tra il taglio e il momento flettente

$$V_y = V_{pl,Rd} \quad e \quad M_y = \frac{e V_{pl,Rd}}{2} \quad \frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} < 2$$

$$V_y = \frac{2 M_{pl,Rd}}{e} \quad e \quad M_y = M_{pl,Rd} \quad \frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} > 2$$

# Sollecitazione plastiche dei link

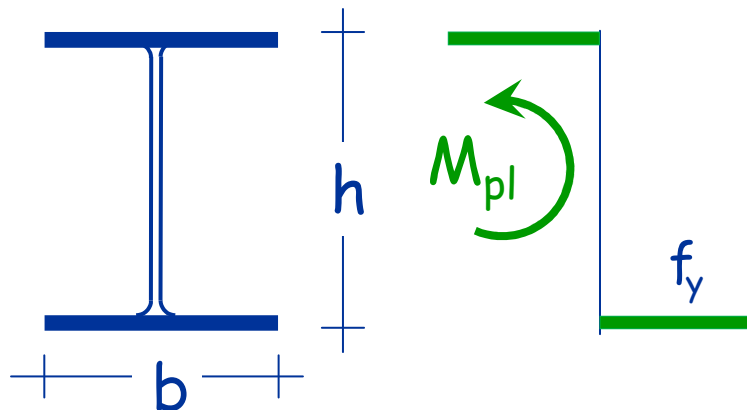
## Dominio Plastico



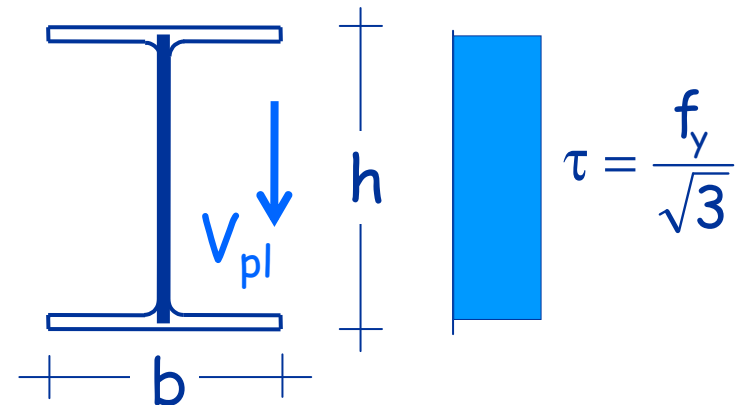
# Resistenza plastica di normativa

Per le sezioni ad I, in assenza di sollecitazione assiale:

$$M_{pl,Rd} = f_y b t_f (h - t_f)$$



$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} t_w (h - t_f)$$



In presenza di  $N_{Ed} > 15\% N_{pl,Rd}$  nel link va tenuta opportunamente in conto la riduzione della resistenza plastica a taglio,  $V_{pl,Rd}$ , e flessione,  $M_{pl,Rd}$ .

# Sollecitazioni Ultime

La resistenza ultima dei link è maggiore dei valori di plasticizzazione (a causa dell'incrudimento, della partecipazione della soletta dell'impalcato e dell'aleatorietà della tensione di snervamento)

- Il taglio ultimo dei link con comportamento inelastico governato dal taglio è

$$V_u = 1.5 V_{pl,Rd}$$

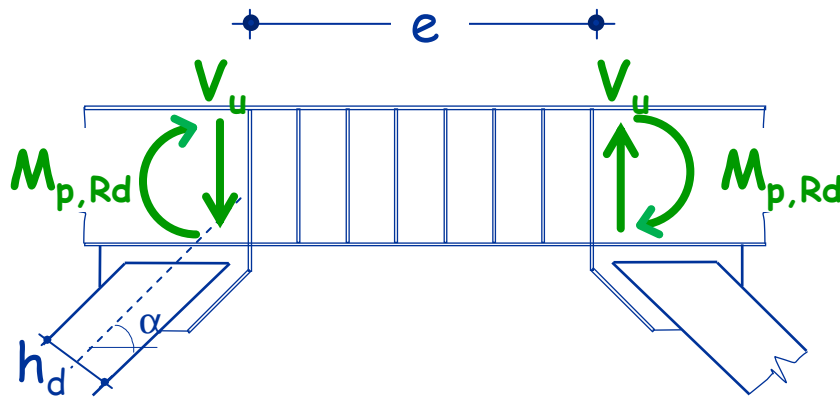
- Il momento ultimo dei link con comportamento inelastico governato dalla flessione è

$$M_u = 1.5 M_{pl,Rd}$$

# Sollecitazioni Ultime

Il fatto che un link si plasticizzi prima per taglio non assicura che il link non presenti una plasticizzazione per flessione prima di pervenire a rottura.

Il valore della lunghezza meccanica al di sopra del quale il link presenta plasticizzazione anche per flessione è:



$$\frac{e V_u}{M_{pl,Rd}} = \frac{e \cdot 1.5 V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} = 2$$



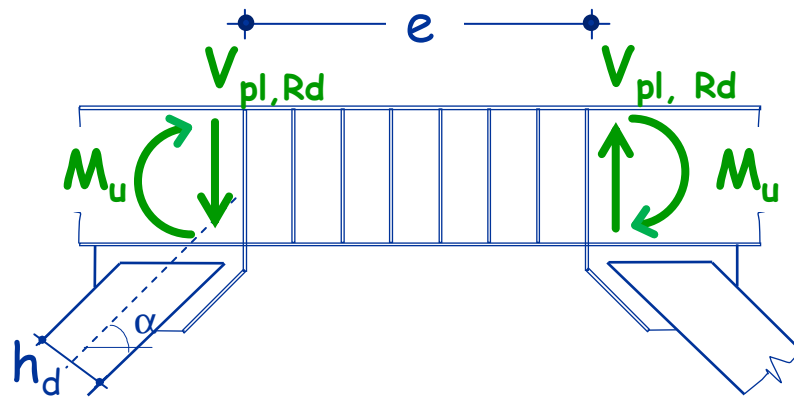
$$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{2}{1.5} = 1.33$$



# Sollecitazioni Ultime

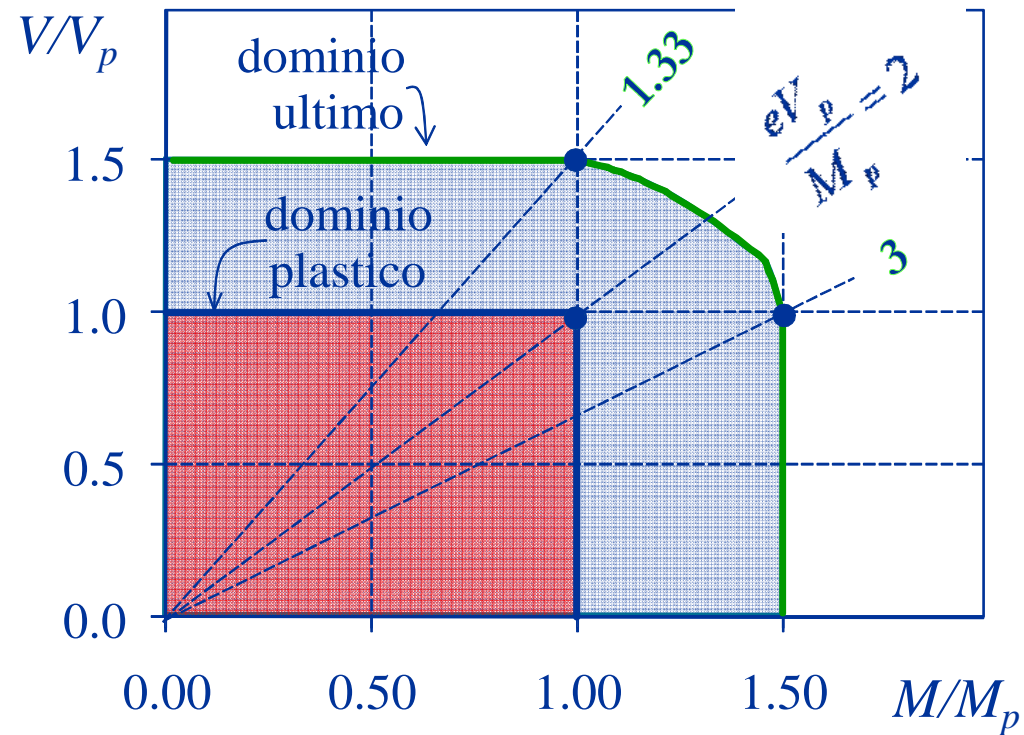
Il fatto che un link si plasticizzi prima per flessione non assicura che il link non presenti una plasticizzazione a taglio prima di pervenire a rottura.

Il valore della lunghezza meccanica al di sotto del quale il link presenta plasticizzazione anche per taglio è:



$$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_u} = \frac{e V_{pl,Rd}}{1.5 M_{pl,Rd}} = 2$$
$$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}} = 2 \cdot 1.5 = 3.0$$

# Dominio Ultimo e Dominio Plastico del Link



# Classificazione dei Link

In funzione del comportamento plastico i link sono generalmente suddivisi dalle normative in:

- CORTI plasticizzazione taglio
- INTERMEDI plasticizzazione taglio e flessione
- LUNGHI plasticizzazione flessione

Tale classificazione è bene interpretata dal parametro

$$\frac{e V_{pl,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

# Classificazione meccanica di Normativa

In relazione alla lunghezza "e" del link, se i momenti di estremità sono eguali

$$e \leq 1.60 \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}}$$

Link corti

$$1.60 \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}} \leq e \leq 3.00 \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}}$$

Link intermedi

$$e > 3.00 \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}}$$

Link lunghi

$M_{pl,Rd}$  è la resistenza flessionale di progetto del link

$V_{pl,Rd}$  è la resistenza a taglio di progetto del link

# Classificazione meccanica di Normativa

In relazione alla lunghezza "e" del link, se i momenti di estremità **non** sono eguali

$$e \leq 0.80 (1 + \alpha) \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}} \quad \text{Link corti}$$

$$0.80 (1 + \alpha) \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}} \leq e \leq 1.50 (1 + \alpha) \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}} \quad \text{Link intermedi}$$

$$e > 1.50 (1 + \alpha) \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}} \quad \text{Link lunghi}$$

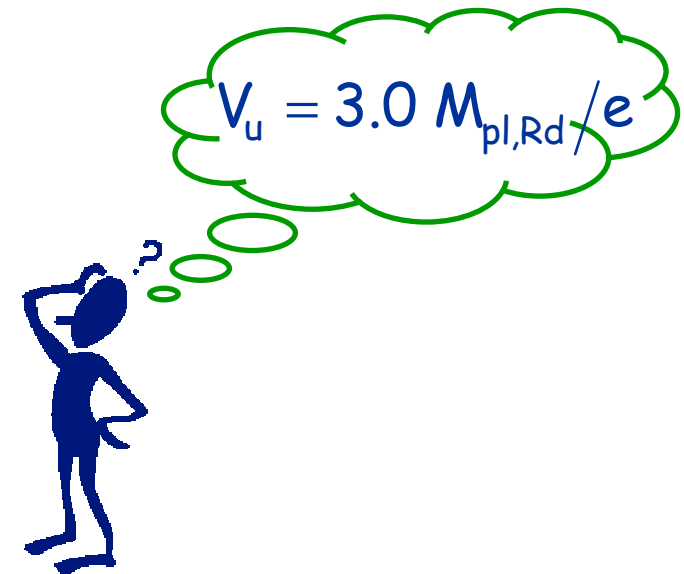
$\alpha$  è il rapporto tra il minore ed il maggiore dei momenti flettenti alle due estremità del link

# Resistenza Ultima di Normativa

Le resistenze ultime dei link sono valutate dalla normativa attraverso le relazioni:

$$\text{Link corti} \left\{ \begin{array}{l} V_u = 1.5 V_{pl,Rd} \\ M_u = 0.75 e V_{pl,Rd} \end{array} \right.$$

$$\text{Link lunghi} \left\{ \begin{array}{l} M_u = 1.5 M_{pl,Rd} \\ V_u = 2.0 M_{pl,Rd} / e \end{array} \right.$$

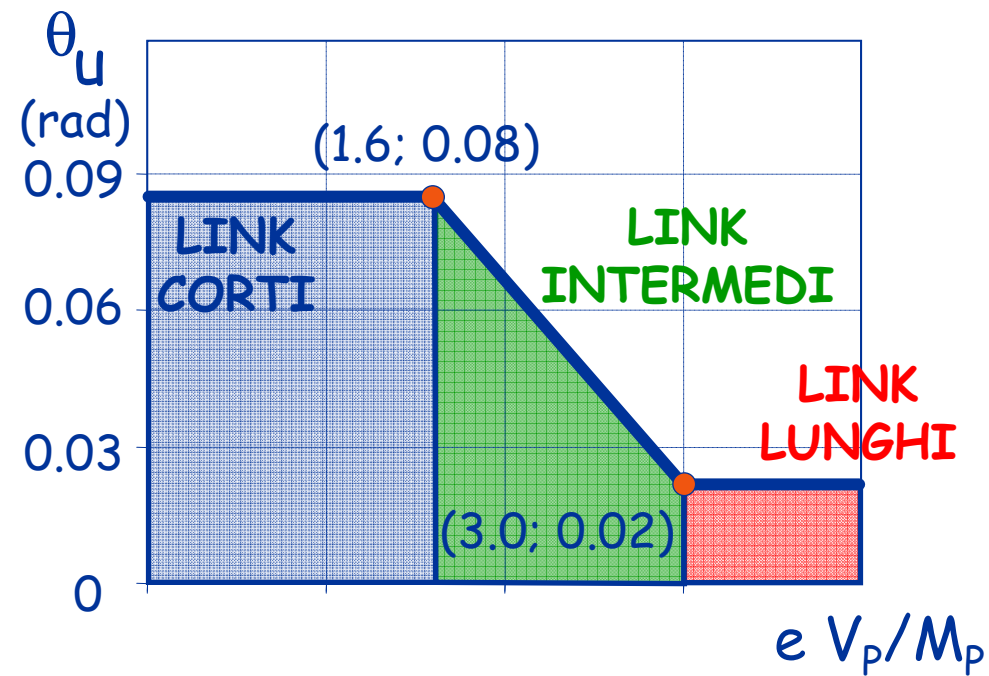


Per link «intermedi» la resistenza ultima può essere determinata per interpolazione.



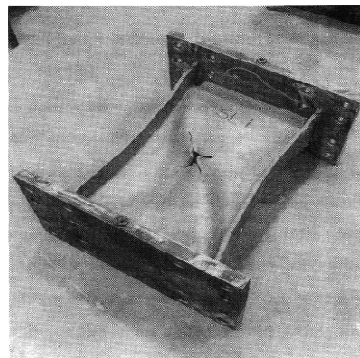
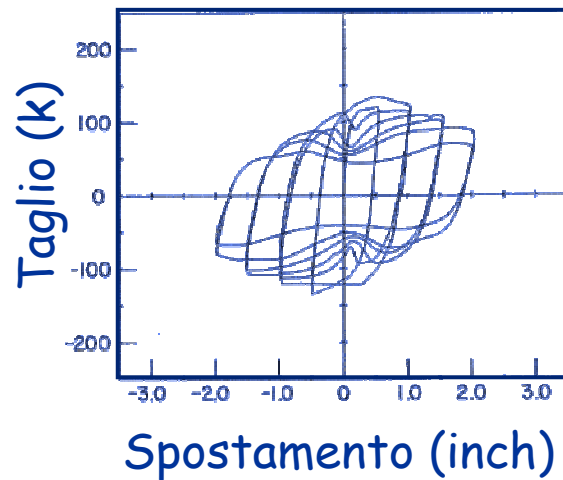
# Capacità Rotazionale di Normativa

$$\theta_u = \gamma_p + \varphi_p$$

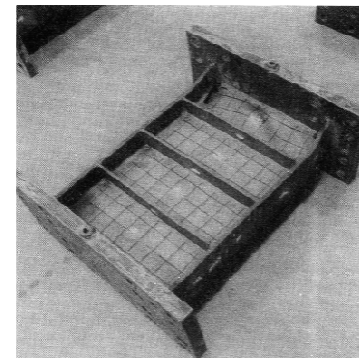
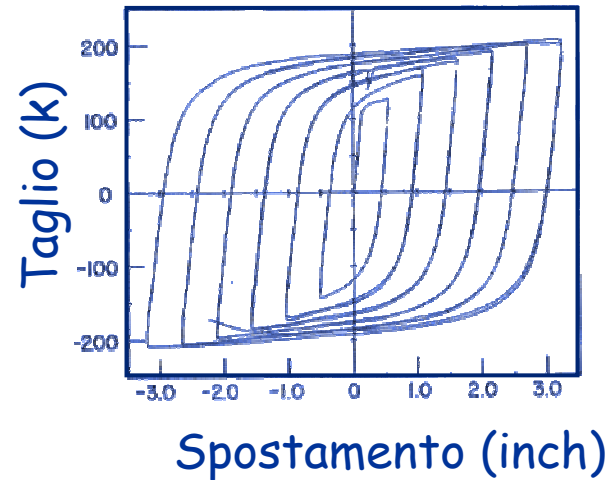


# Irrigidimenti dei Link Corti

Link corto senza irrigidimenti trasversali



Link corto con irrigidimenti trasversali



# Irrigidimenti dei Link Corti in Normativa

L'instabilità inelastica a taglio potrebbe limitare le capacità dissipative. Per migliorare la duttilità locale devono essere impiegati degli irrigidimenti d'anima.

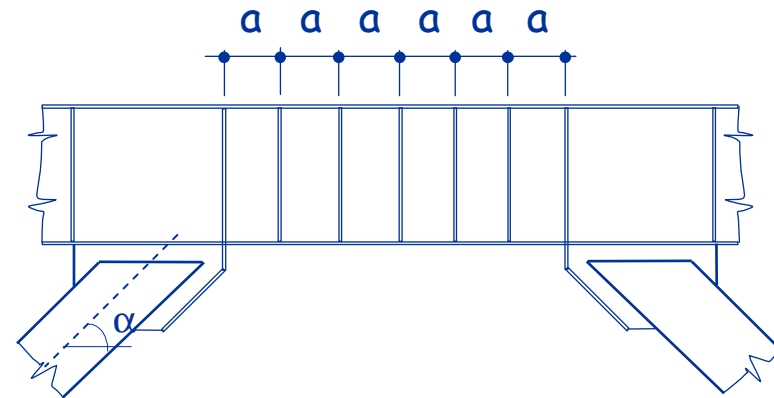
Gli irrigidimenti trasversali devono essere disposti da entrambi i lati del profilo.

Per link corti con  $h_b < 600$  mm gli irrigidimenti possono essere disposti da un solo lato dell'anima,

$$h_i \geq \frac{3}{4} h_w.$$

$$t_i \geq t_w, t_i \geq 10 \text{ mm}$$

$$b_i = (b_f/2) - t_w.$$



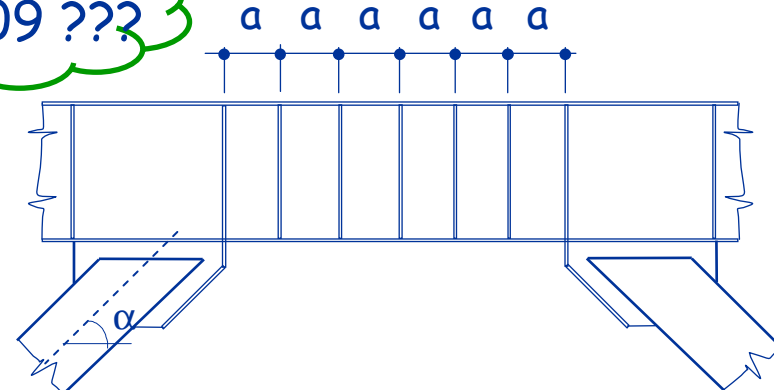
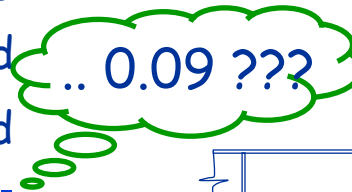
# Irrigidimenti dei Link Corti in Normativa

L'instabilità inelastica a taglio potrebbe limitare le capacità dissipative. Per migliorare la duttilità locale devono essere impiegati degli irrigidimenti d'anima.

$$a \leq 29 t_w - h_b/5 \quad \text{per } \gamma_p = \pm 0.09 \text{ rad}$$

$$a \leq 38 t_w - h_b/5 \quad \text{per } \gamma_p = \pm 0.06 \text{ rad}$$

$$a \leq 56 t_w - h_b/5 \quad \text{per } \gamma_p = \pm 0.03 \text{ rad}$$



dove :

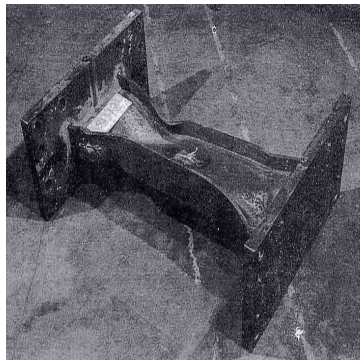
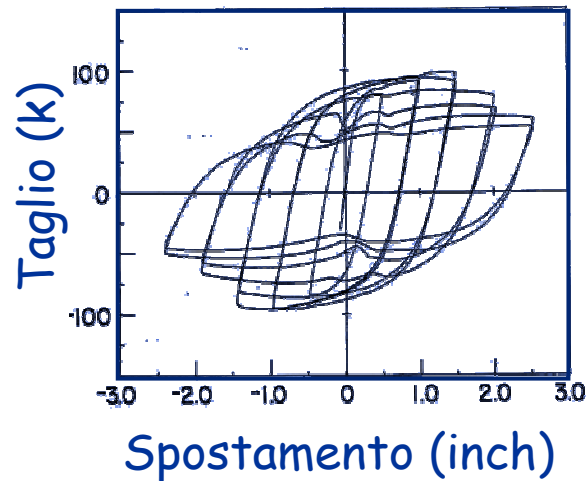
$t_w$  è lo spessore dell'anima del link

$h_b$  è l'altezza del profilo del link

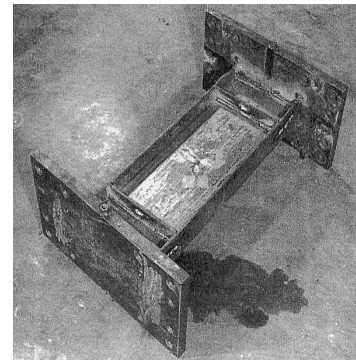
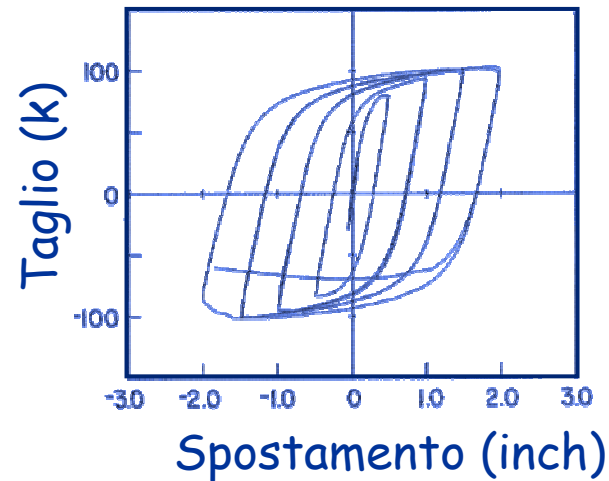
$\gamma_p$  è la massima deformazione plastica a taglio

# Irrigidimenti dei Link Lunghi

Link lungo senza irrigidimenti trasversali



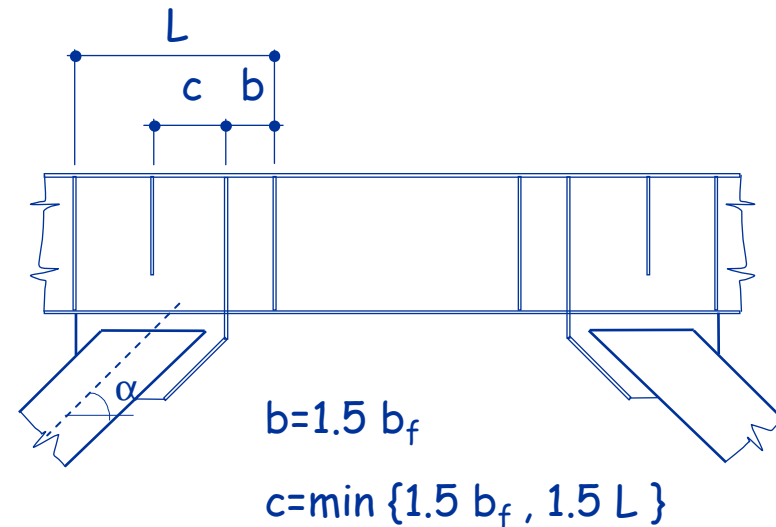
Link lungo con irrigidimenti trasversali



# Irrigidimenti dei Link Lunghi in Normativa

Le modalità di collasso tipiche sono rappresentate dalla instabilità locale della piattabanda compressa e dalla instabilità flessione-torsionale.

Gli irrigidimenti devono impegnare l'intera altezza dell'anima.



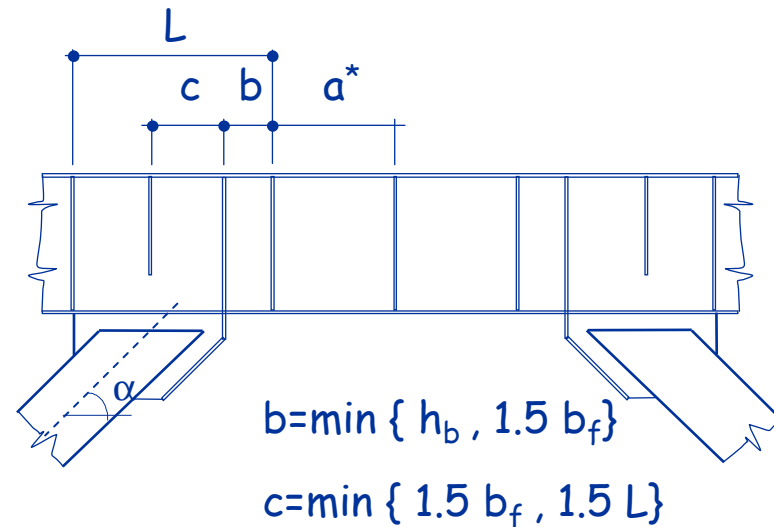


# Irrigidimenti dei Link Intermedi

Il comportamento dei link lunghi è dominato dalla plasticizzazione per flessione e per taglio.

$$a^* = a \quad \text{per} \quad e = 1.60 \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}}$$
$$a^* = \frac{3}{2} \left( \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}} - b_f \right) \quad \text{per} \quad e = 3.00 \frac{M_{pl,Rd}}{V_{pl,Rd}}$$

per valori intermedi di "e" si  
esegue un'interpolazione lineare



# Sovreresistenza dei Link

I coefficienti  $\Omega$  dei link sono definiti come:

Link corti  $\Omega_i = 1.5 \frac{V_{pl,Rd}}{V_{Ed}}$

Link lunghi e intermedi  $\Omega_i = 1.5 \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}}$

.. 1.50 ???



dove :

$M_{pl,Rd}$  è il momento resistente del link

$V_{pl,Rd}$  sono il taglio resistente del link

$M_{Ed}$  è il momento di calcolo ottenuto dalla combinazione sismica

$V_{Ed}$  è il taglio di calcolo ottenuto dalla combinazione sismica

# Sovreresistenza Limite dei Link

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

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

dove :

$\Omega_{\max}$  è il massimo coefficiente di sovreresistenza tra i link

$\Omega_{\min}$  è il minimo coefficiente di sovreresistenza tra i link

# Progetto degli altri elementi

Le membrature che non contengono i link sono progettate in modo simile a quanto indicato per sistemi con controventi concentrici

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

$N_{pl,Rd}$  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 link



# Progetto degli altri elementi

## Considerazioni

Nel caso di link lunghi o con  $\Omega_{\max} / \Omega_{\min} \approx 1.25$

$$N_{Rd}(M_{Ed}, V_{Ed}) \geq N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{Rd} \Omega N_{Ed,E}$$

non garantisce il rispetto dei principi del capacity design.



Il progetto di diagonali, colonne e travi andrebbe eseguito in accordo a regole di applicazione più severe

$$N_{Rd}(1.1 \gamma_{Rd} \Omega M_{Ed}, 1.1 \gamma_{Rd} \Omega V_{Ed}) \geq N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{Rd} \Omega N_{Ed,E}$$

# Scelta dei Profili di Link e Diagonali

Per rendere coerente il modello numerico con il modello reale, si consiglia di scegliere i profili di link e diagonali in modo che gli assi si incontrino all'interno o al massimo alla fine del link.

$$H \leq h_d \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad e_y \geq 0$$

