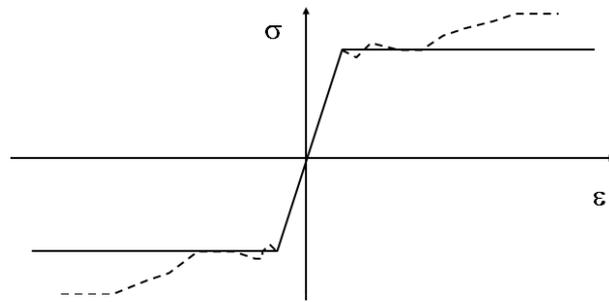


# CENNI ALLA DUTTILITÀ DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO



## LA DUTTILITÀ' DEGLI ELEMENTI

Aste compresse

Aste tese

Elementi inflessi

## LA DUTTILITÀ' DEI COLLEGAMENTI

di aste compresse

di aste tese

di elementi inflessi

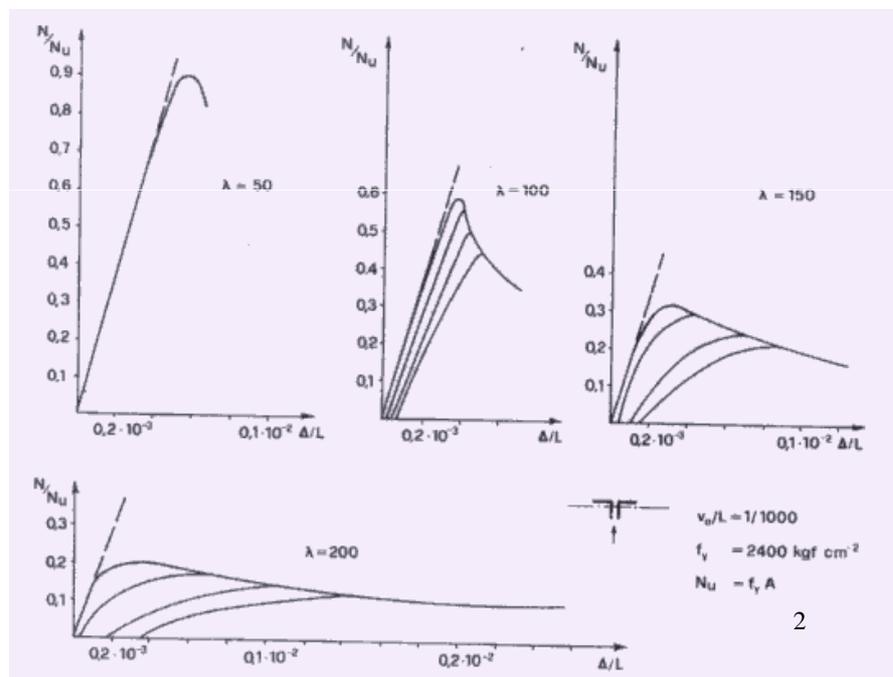
1

## duttilità degli elementi

**ASTE TESE:** un elemento teso ha un comportamento analogo a quello del materiale base e quindi duttile

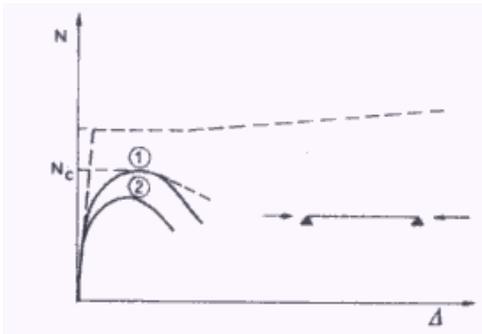
## ASTE COMPRESSE

per snellezze ridotte il  
comportamento è  
fragile



2

## ASTE COMPRESSE



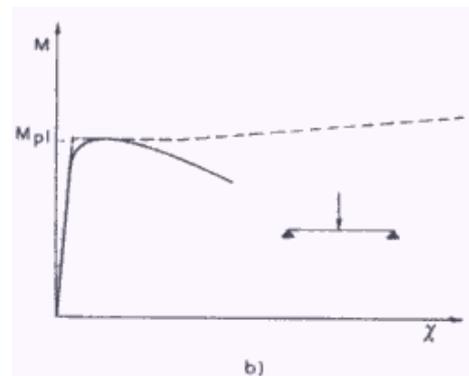
Fenomeni d'instabilità locale della sezione: possono ridurre la capacità portante dell'asta nel solo ramo discendente (1) se il rapporto  $b/t$  (larghezza/spessore) della sezione è contenuto.

Se tale rapporto è elevato, il fenomeno di stabilità locale interagisce con quello globale e la capacità dell'asta diminuisce (2)

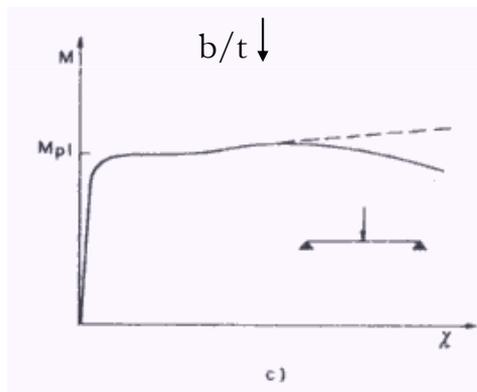
3

## ELEMENTI INFLESSI

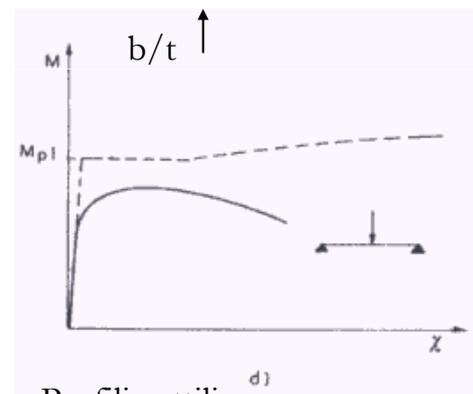
Gli stessi fenomeni di instabilità locale inerenti le parti compresse della sezione determinano il comportamento dell'asta inflessa



Le parti compresse più impegnate possono instabilizzarsi



L'Instabilità locale si manifesta quando le deformazioni unitarie hanno superato il limite elastico



Profili sottili:

L'Instabilità locale condiziona la capacità portante

4

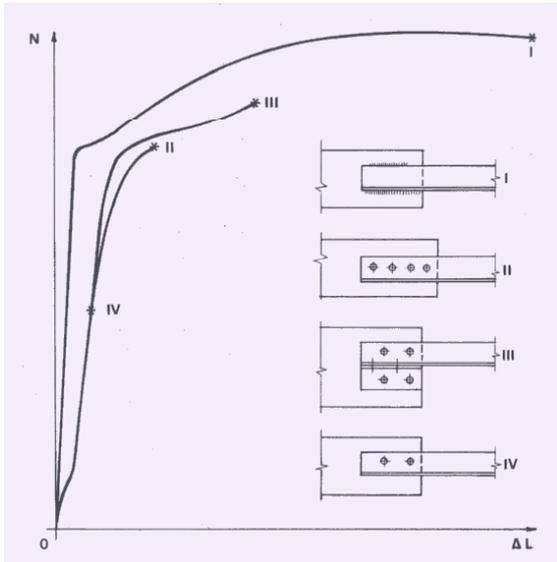
# duttilità nei collegamenti

## GIUNTI DI ASTE COMPRESSE

Il collegamento non penalizza l'elemento se progettato per resistere ad azioni superiori a quelle critiche di instabilità essendo le aste compresse scarsamente duttili non sono richiesti accorgimenti particolari

## GIUNTI DI ASTE TESE

la duttilità si può ottenere con la realizzazione di giunti a completo ripristino per consentire a tutte le sezioni di evolvere in campo plastico



(I) Giunzione saldata a completo ripristino

(II) Giunzione bullonata a completo ripristino riguardante una parte del profilo. Nel collasso per rottura della sezione netta, l'assenza di concentrazioni di sforzo consente la plasticizzazione dell'asta

(III) Giunzione bullonata a completo ripristino riguardante tutte le parti del profilato

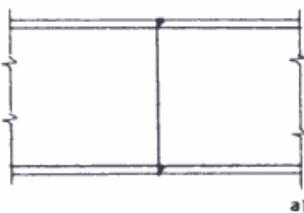
(IV) Giunzione bullonata a parziale ripristino

5

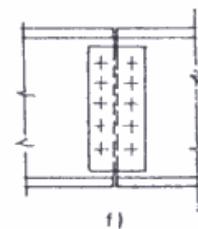
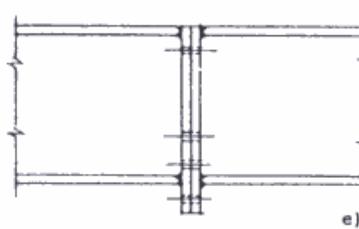
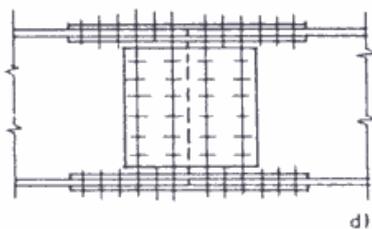
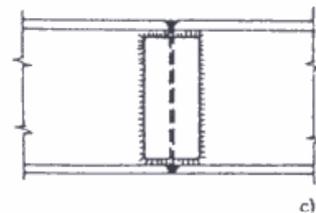
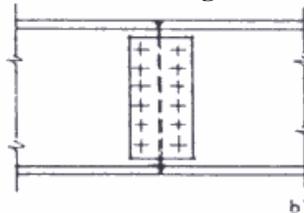
## duttilità nei collegamenti

## GIUNTI DI ELEMENTI INFLESSI

completo ripristino



completo o parziale ripristino flessionale a seconda del giunto dell'anima

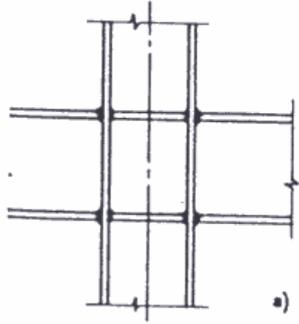


può essere considerato duttile ma può essere declassato da cicli alterni significativi

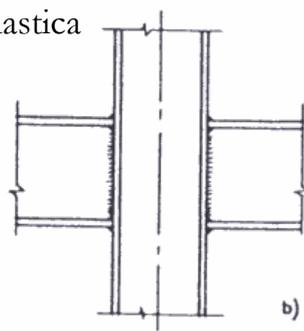
parziale ripristino: ripristino anima

6

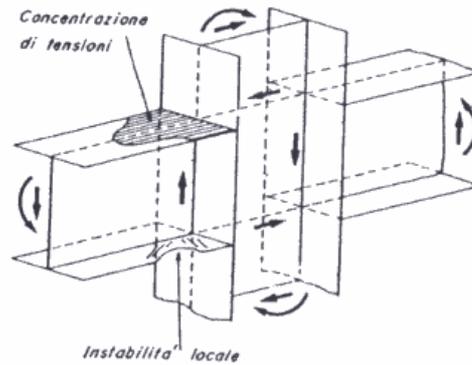
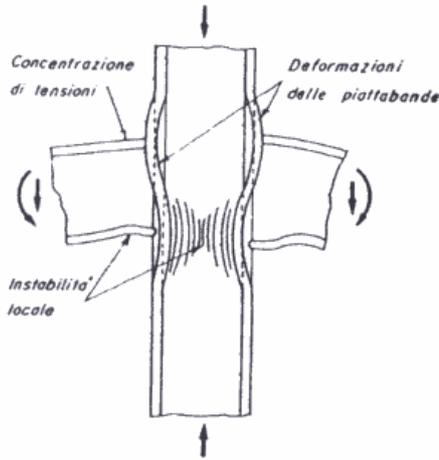
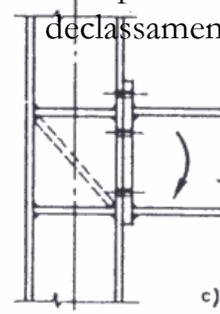
Completo ripristino:  
saldatura trave-colonna in  
opera



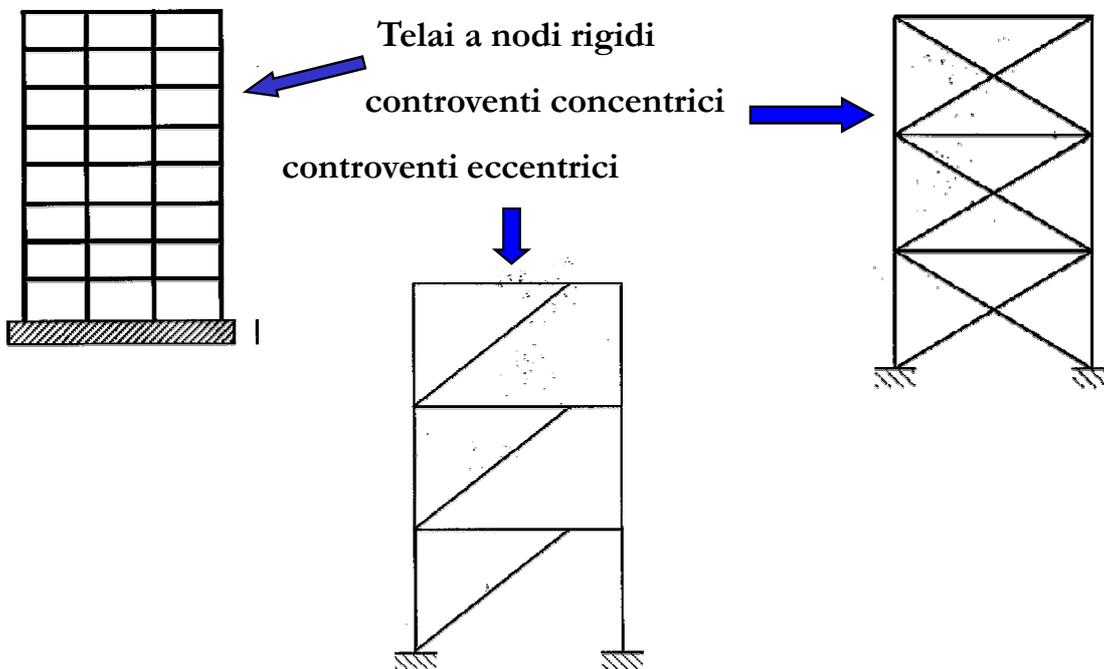
Senza irrigidimenti: può  
manifestare insufficiente  
capacità di rotazione  
plastica



la soluzione flangiata può  
manifestare  
forti pericoli di  
declassamento



## duttilità del sistema sismoresistente (duttilità globale)



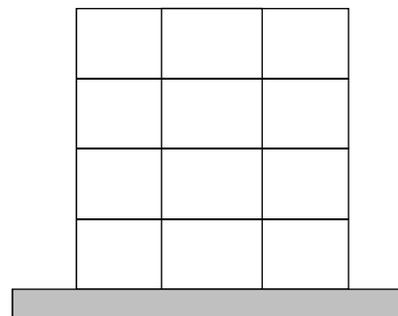
## TIPOLOGIE STRUTTURALI E FATTORE DI STRUTTURA

**STRUTTURE INTELAIATE:** resistono alle forze orizzontali con un comportamento prevalentemente flessionale.

### *Telai resistenti a momento*

duttilità → cerniere plastiche nelle travi

- evitare telai con travi molto alte
- modello trave debole-colonna forte,
- buona regolarità nella distribuzione di rigidezze e resistenze lungo l'altezza



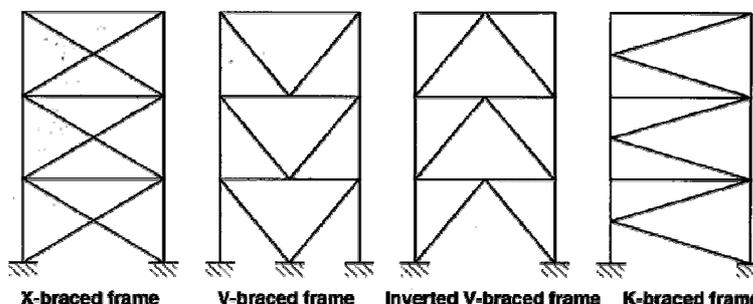
9

## CONTROVENTI RETICOLARI CONCENTRICI:

forze orizzontali assorbite principalmente da membrature tese e compresse

zone dissipative : diagonali tese.

lo snervamento delle diagonali tese precede il raggiungimento della resistenza delle aste necessarie per equilibrare i carichi esterni



### *Telai con controventi concentrici*

elementi di controventi concentrici sono soggetti in prevalenza a forze assiali

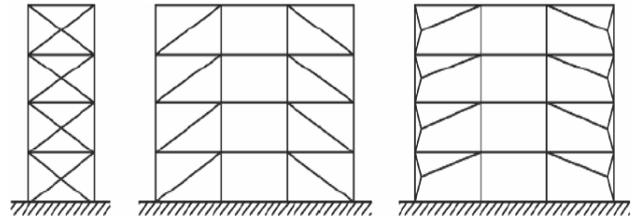
- dispersione energetica affidata ai diagonali tesi
- i cicli dissipativi possono manifestare degrado a causa di fenomeni di instabilità

10

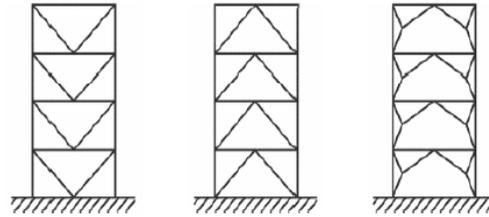
## CONTROVENTI RETICOLARI CONCENTRICI:

### *controventi con diagonale tesa*

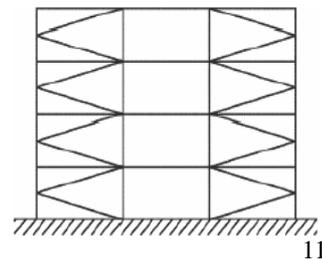
*attiva* dissipazione nelle aste diagonali soggette a trazione in campo plastico



*controventi a V* - le forze orizzontali devono essere assorbite considerando sia le diagonali tese che quelle compresse. Il punto d'intersezione di queste diagonali giace su di una membratura orizzontale che deve essere continua.



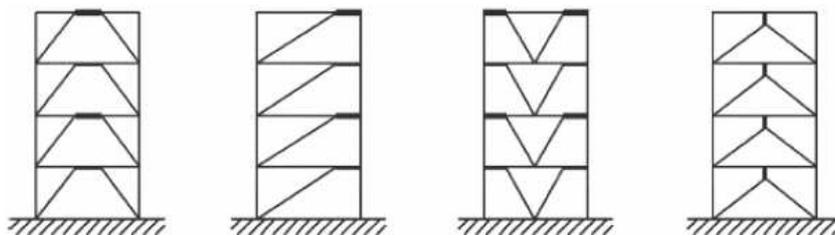
*controventi a K* - il punto d'intersezione delle diagonali giace su di una colonna. categoria NON DISSIPATIVA  $q = 1$ .



## CONTROVENTI RETICOLARI ECCENTRICI:

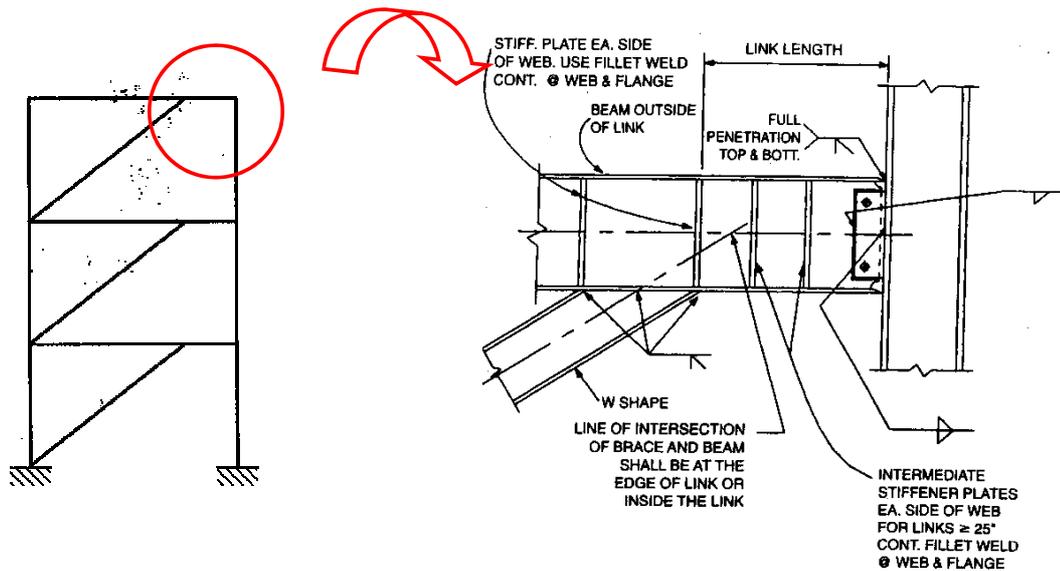
le forze orizzontali sono principalmente assorbite da membrature caricate assialmente, ma la presenza di eccentricità di schema permette la dissipazione di energia nei traversi per mezzo del comportamento ciclico a flessione e/o taglio.

Sono DISSIPATIVI quando la plasticizzazione dei traversi dovuta alla flessione e/o al taglio precede il raggiungimento della resistenza ultima delle altre parti strutturali.



Controventi eccentrici

La trave risulta suddivisa in più tratti; di questi, la parte più breve prende il nome di 'link' essa forma la zona dissipativa che è dovuta a cicli non lineari di taglio e momento



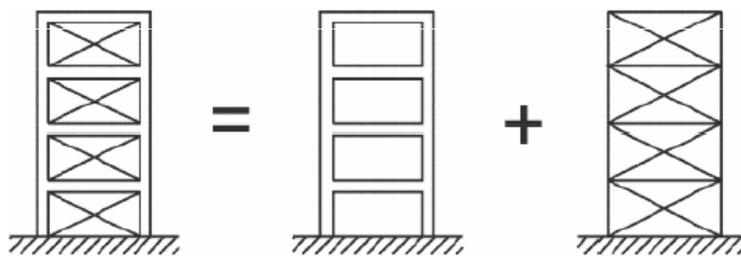
Link corti: plasticizzazione per taglio

Link lunghi: plasticizzazione per flessione

13

**STRUTTURE A MENSOLA O A PENDOLO INVERTITO:** costituite da membrature pressoinflesse in cui le zone dissipative sono collocate alla base.

**STRUTTURE INTELAIATE CONTROVENTATE:** nelle quali le azioni orizzontali sono assorbite sia da telai che da controventi agenti nel medesimo piano.



Strutture intelaiate controventate

14

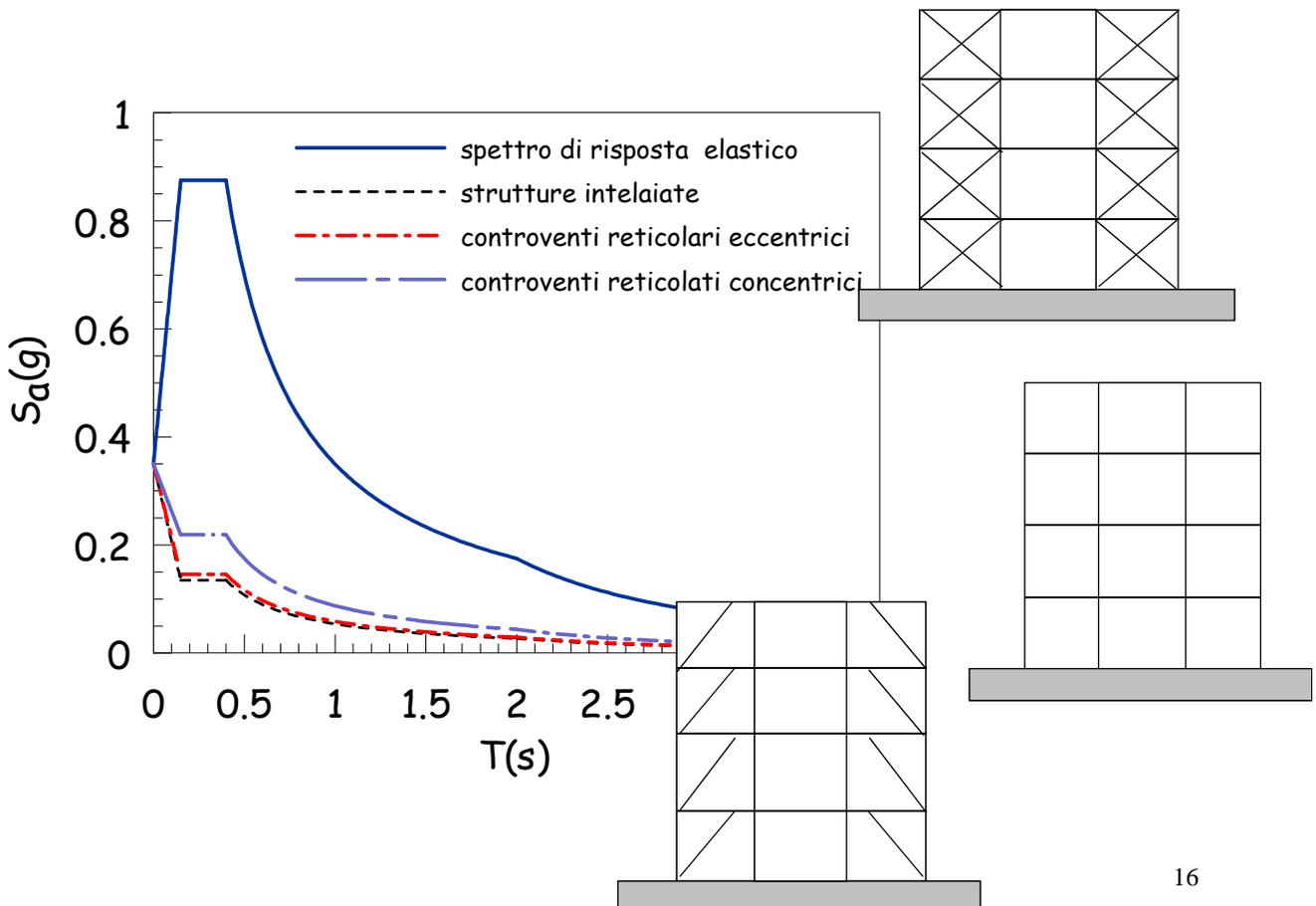
La normativa fissa il fattore di struttura, in assenza di metodi di determinazione più accurati, a seconda della tipologia strutturale, duttilità, regolarità

$$q = q_0 K_R$$

↑
↑  
 tipologia strutturale    regolarità

TIPOLOGIA STRUTTURALE	CLASSE DI DUTTILITÀ	
	BASSA	ALTA
Strutture intelaiate o con controventi eccentrici	4	$5\alpha_u / \alpha_y$
Controv. reticolari concentrici	4	4
Controventi eccentrici	4	$5\alpha_u / \alpha_y$
Strutt. a mensola o pendolo invertito	2	-

$5\alpha_u / \alpha_y$



**Strutture non dissipative**

- ★ Sono progettate in campo elastico e non richiedono particolari verifiche rispetto a quelle tradizionali
- ★ Non si possono ridurre le forze sismiche mediante il coefficiente di struttura
- ★ Peraltro le strutture in acciaio sono snelle e leggere e di natura soggette ad azioni sismiche moderate

**Strutture dissipative**

- ★ Sono progettate facendo affidamento sulla capacità deformativa anelastica.
- ★ Sono progettate in maniera da sviluppare le zone dissipative ove la instabilità locale o la plasticizzazione o altri fenomeni di degrado non influenzano la stabilità globale
- ★ Le parti non dissipative e i collegamenti tra le parti dissipative e il resto della struttura devono possedere una sovraresistenza sufficiente a consentire lo sviluppo della plasticizzazione ciclica delle parti dissipative (*GR*)

Regole di dettaglio per le strutture dissipative:

Regole di progetto generali per elementi strutturali dissipativi

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate

Per le strutture a controventi concentrici

Per le strutture a controventi eccentrici

17

Regole di progetto generali per elementi strutturali dissipativi **OPCM 3274**

**elementi compressi**

La vecchia ordinanza usava il parametro *S* per la classificazione delle sezioni

Al fine di garantire una sufficiente duttilità locale delle membrature vengono limitati i valori *b/t* delle parti compresse. Si distinguono in tre categorie di duttilità delle membrature:

**DUTTILI:** l'instabilità locale si sviluppa in campo plastico e la membratura sviluppa grandi deformazioni plastiche

**PLASTICHE:** l'instabilità locale si sviluppa in campo plastico, ma i rapporti *b/t* sono tali da non consentire deformazioni plastiche significative;

**SNELLE:** quando l'instabilità locale avviene in campo elastico, senza consentire l'inizio di plasticizzazioni.

L'ordinanza fornisce un parametro per i per la definizione della classificazione che tiene in conto della interazione fra le parti compresse della sezione (flangia e anima) e della dimensione longitudinale.

$$s = \frac{1}{0.695 + 1.632\lambda_f^2 + 0.062\lambda_w^2 - 0.602 \frac{b_f}{L^*}} \leq \frac{f_u}{f_y}$$

**DOPIO T INFLESSI /PRESSOINFLESSI**

$\lambda_w, \lambda_f$  parametri di snellezza della flangia e dell'anima

esprime il rapporto fra la tensione che determina la instabilità locale e la tensione di snervamento:

$S > 1.2$	DUTTILI	$K_D=1$	$q = q_0 K_R K_D$
$1 < S < 1.2$	PLASTICHE	$K_D=0.75$	
$S < 1$	SNELLE (solo bassa duttilità)	$K_D=0.5$	

Per casi diversi si può fare riferimento all'eurocodice ec3. Sono duttili le sezioni di prima classe, plastiche le sezioni di seconda e di terza, snelle le sezioni di quarta classe

**NOTA:** le membrature tese sono sempre classificate come duttili <sup>19</sup>

**Regole di progetto generali per elementi strutturali dissipativi**

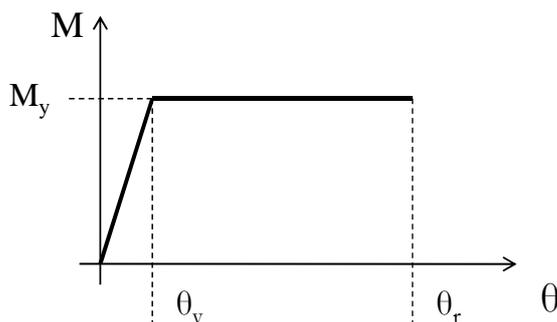
**DM 2008**

Il DM 2008 si basa su una classificazione concettualmente analoga che si avvale rapporti geometrici della sezione codificati in apposite tabelle

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale  $C_\theta$  definita come:

$$C_\theta = \theta_r / \theta_y - 1$$

essendo  $\theta_r, \theta_y$  le curvature ultima e di snervamento.



Le membrature sono quindi classificate in funzione della loro duttilità nei riguardi di fenomeni di instabilità locale

Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale

**classe 1** quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi senza subire riduzioni della resistenza - generalmente  $C_\theta > 3$

**classe 2** quando la sezione è in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma con capacità rotazionale limitata - generalmente  $C_\theta > 1.5$

**classe 3** quando nella sezione le tensioni calcolate nelle fibre estreme compresse possono raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità locale impedisce lo sviluppo del momento resistente plastico;

**classe 4** quando, per determinarne la resistenza flettente, tagliante o normale, è necessario tener conto degli effetti dell'instabilità

**Le sezioni di classe 1 e 2 si definiscono compatte, quelle di classe 3 moderatamente snelle e quelle di classe 4 snelle.**

Tabella 4.2.1 - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
			21

Le sezioni di classe 1 e 2 si definiscono compatte, quelle di classe 3 moderatamente snelle e quelle di classe 4 snelle.

Sezioni Tubolari						
Classe	Sezione inflessa e/o compressa					
1	$d/t \leq 50e^2$					
2	$d/t \leq 70e^2$					
3	$d/t \leq 90e^2$ (Per $d/t > 90e^2$ vedere EN 1993-1-6)					
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$e^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 72e$	$c/t \leq 33e$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396e}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36e}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83e$	$c/t \leq 38e$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456e}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,22e}{\alpha}$			
Distribuzione delle tensioni						

A seconda della duttilità che si vuole conseguire si devono impiegare le seguenti sezioni:

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

*La classe di una sezione composta corrisponde al valore più alto della classe delle sezioni componenti*

### Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate

Al fine di conseguire un comportamento duttile, i telai devono essere progettati in modo che le cerniere plastiche si formino nelle travi piuttosto che nelle colonne.

#### Verifica di resistenza nelle travi

La resistenza flessionale plastica e la capacità di rotazione non devono essere compromesse dalla contemporanea presenza di taglio e sforzo assiale

Pertanto:

$$M_{Ed}/M_{pl,Rd} \leq 1 \quad (7.5.3)$$

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 0,15 \quad (7.5.4)$$

$$(V_{Ed,G} + V_{Ed,M})/V_{pl,Rd} \leq 0,50 \quad (7.5.5)$$

dove:

$M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$  e  $V_{Ed}$  sono i valori di progetto del momento flettente, della sollecitazione assiale e del taglio;

$M_{pl,Rd}$ ,  $N_{pl,Rd}$  e  $V_{pl,Rd}$  sono i valori delle resistenze plastiche di progetto, flessionale, assiale e tagliante determinate secondo criteri di cui al § 4.2.4.1.2;

$V_{Ed,G}$  è la sollecitazione di taglio di progetto dovuta alle azioni non-sismiche;

$V_{Ed,M}$  è la forza di taglio dovuta all'applicazione di momenti plastici equiversi  $M_{pl,Rd}$  nelle sezioni in cui è attesa la formazione delle cerniere plastiche.

## Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate

Al fine di conseguire un comportamento duttile, i telai devono essere progettati in modo che le cerniere plastiche si formino nelle travi piuttosto che nelle colonne.

### Gerarchia delle Resistenze travi –colonna

$$\sum M_{C,pl,Rd} \geq \gamma_{RD} \cdot \sum M_{b,pl,Rd}$$

1.3



$M_{C,pl,Rd}$  è il momento resistente della colonna

$M_{b,pl,Rd}$  è il momento resistente delle travi che convergono nel nodo

25

### Gerarchia delle Resistenze travi –colonna

“capacity design” - collegamenti delle zone dissipative a quelle non dissipative: devono avere sufficiente sovrarresistenza per consentire la plasticizzazione delle parti collegate.

$$R_d \geq \xi \cdot R_y$$

$R_d$ : resistenza di progetto del collegamento

$R_y$ : resistenza plastica della membratura collegata.

### Regole di dettaglio per le strutture dissipative strutture intelaiate

#### TELAJ

collegamenti trave-colonna devono consentire la formazione delle cerniere plastiche alle estremità delle travi:

$$M_{j,Rd} \geq 1.1 \gamma M_{b,Rd}$$

$M_{j,Rd}$ : resistenza flessionale di progetto dei collegamenti trave-colonna

$M_{b,Rd}$ : resistenza flessionale di progetto delle travi collegate.



26

**Gerarchia delle Resistenze PANNELLI NODALI**

- ★ Nei nodi trave-colonna, i pannelli d'anima delle colonne devono possedere una resistenza sufficiente e consentire lo sviluppo del meccanismo dissipativo della struttura a telaio, e cioè la plasticizzazione delle sezioni delle travi convergenti nel nodo trave-colonna.
- ★ La forza di taglio agente sul pannello d'anima del nodo trave-colonna deve essere determinata assumendo la completa plasticizzazione delle travi in esso convergenti secondo lo schema e le modalità previste in fase di progetto.

per escludere fenomeni di plasticizzazione o di instabilità a taglio:

$$V_{vp,Ed} / \min(V_{vp,Rd}, V_{vb,Rd}) < 1$$

$V_{vp,Ed}$ ,  $V_{vp,Rd}$  e  $V_{vb,Rd}$  la forza di progetto e la resistenza a taglio per plasticizzazione e la resistenza a taglio per instabilità del pannello

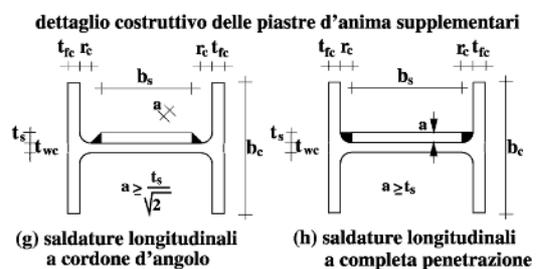
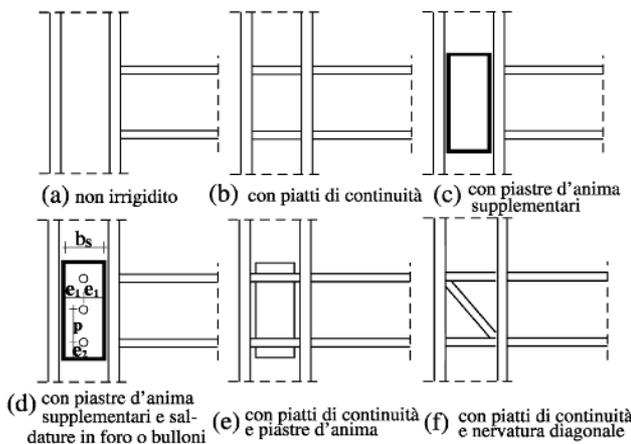
**Gerarchia delle Resistenze PANNELLI NODALI**

Per escludere la plasticizzazione a Taglio:

$$V_{WP,Ed,U} = \gamma_{ov} \cdot \frac{\sum M_{b,pl,Rd}}{Z} \left( 1 - \frac{Z}{H - h_b} \right) \quad (C7.5.2)$$

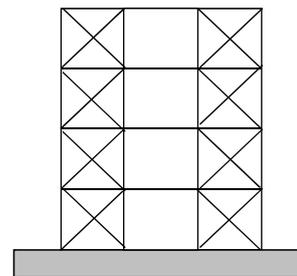
dove  $\sum M_{b,pl,Rd}$  è la sommatoria dei momenti plastici resistenti delle travi, H è l'altezza di interpiano del telaio, z è il braccio di coppia interna della trave e  $h_b$  è l'altezza della sezione della trave. La

La prestazione richiesta ai pannelli è almeno il doppio di quella richiesta dai consueti metodi  
Risulta praticamente obbligata la scelta di soluzioni con irrigidimenti:

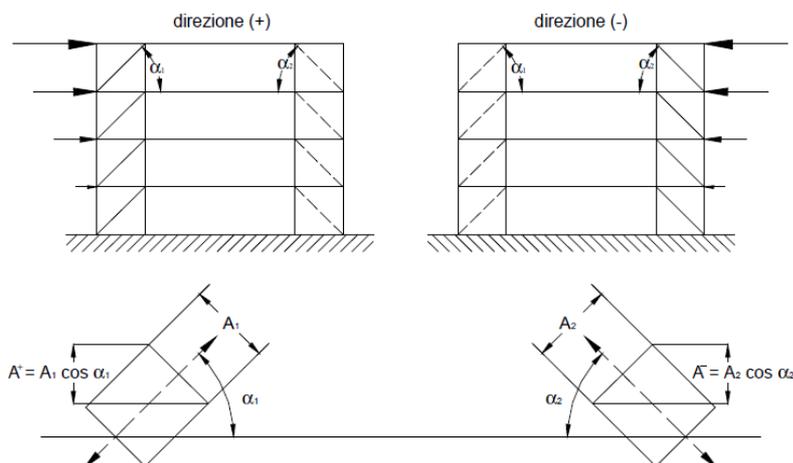


## Regole di progetto specifiche per strutture con controventi concentrici

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



$$\frac{|A^+ - A^-|}{A^+ + A^-} \leq 0,05$$



29

- ★ 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



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

- ★ Diagonali instabilità controllata  $1,3 \leq \bar{\lambda} \leq 2$  in telai con controventi ad X;



$\bar{\lambda} \leq 2$  in telai con controventi a V.

Snellezza adimensionale

Prevenire danneggiamenti dal fazzoletto causa azioni fuori dal piano

Prevenire la rottura del controvento per raggiungimento dello snervamento a cicli di trazione non compensati a causa della instabilità

- ★ Le diagonali hanno essenzialmente funzione portante nei confronti delle azioni sismiche e - tranne che per i controventi a V - devono essere considerate le sole diagonali tese.

- ★ Le membrature di controvento devono appartenere alla prima o alla seconda classe

**Restano esclusi gli angolari**

30