

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Avellino

Corso di Aggiornamento su  
**Norme Tecniche per le Costruzioni**  
**D.M. 14-01-2008**  
Avellino , 30 Gennaio 2009

***PROGETTAZIONE DI COSTRUZIONI  
COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO***

**- TERZA PARTE -**



**Prof. Emidio NIGRO**

**D.I.ST. - Dipartimento di Ingegneria Strutturale  
Università di Napoli "Federico II"**

# INDICE DELLA PRESENTAZIONE

- Tipologie strutture composte acciaio-calcestruzzo
  - solette
  - travi
  - colonne
  - collegamenti
- Elementi di calcolo di membrature composte
- Criteria di progettazione di strutture composte in zona sismica

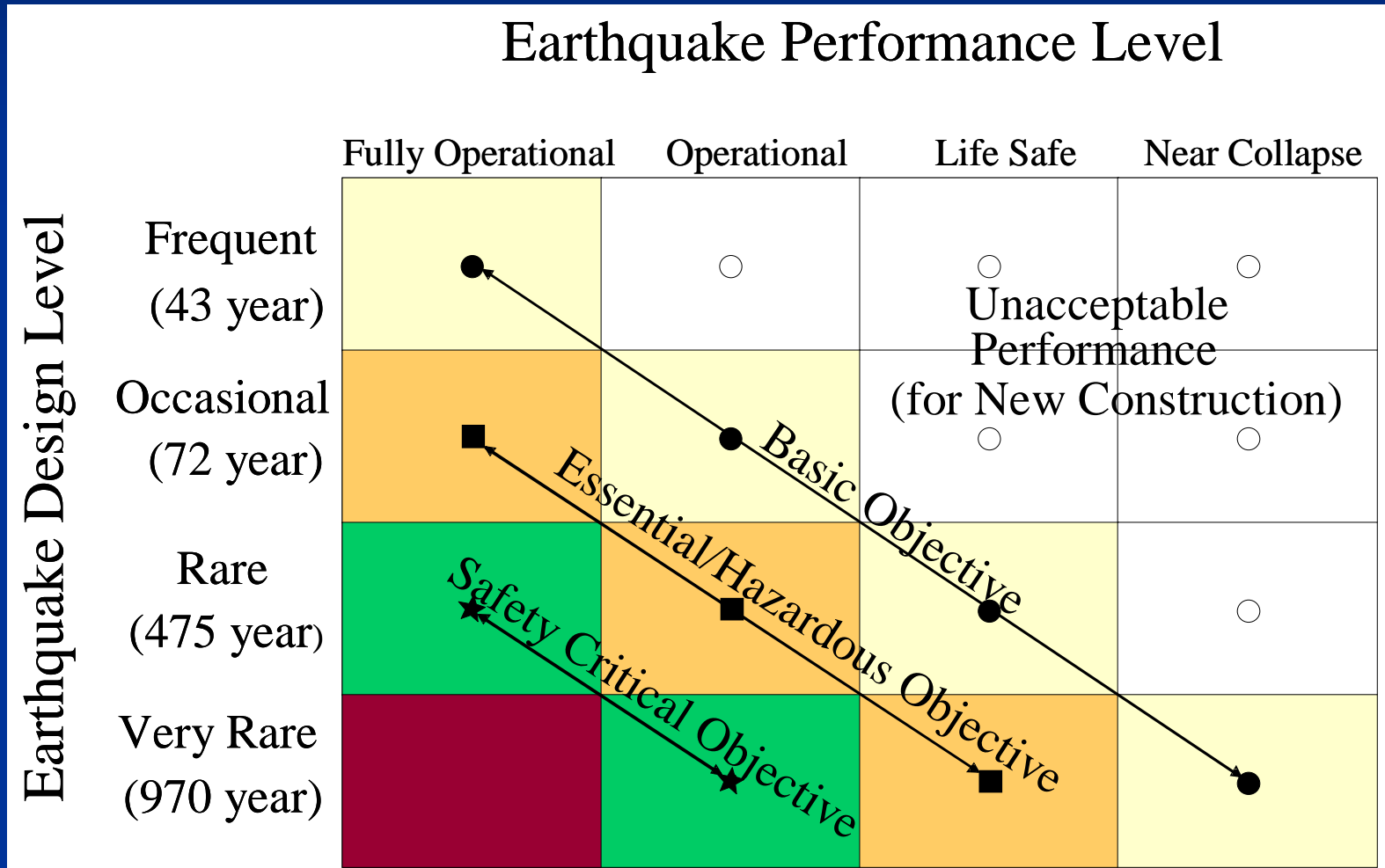
# LA PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN ZONA SISMICA

- Definizione delle azioni di progetto a partire dallo spettro elastico e considerando la duttilità strutturale (fattore di struttura q).
- Progetto delle strutture sismo-resistenti al fine di conseguire il livello richiesto di duttilità globale.
- Progetto delle sezioni e degli elementi strutturali per assicurare la necessaria duttilità locale.
- Analisi delle sollecitazioni (statica lineare, dinamica modale, statica non lineare, dinamica non lineare)
- Verifiche: Stato Limite di Danno e Stato Limite Ultimo.

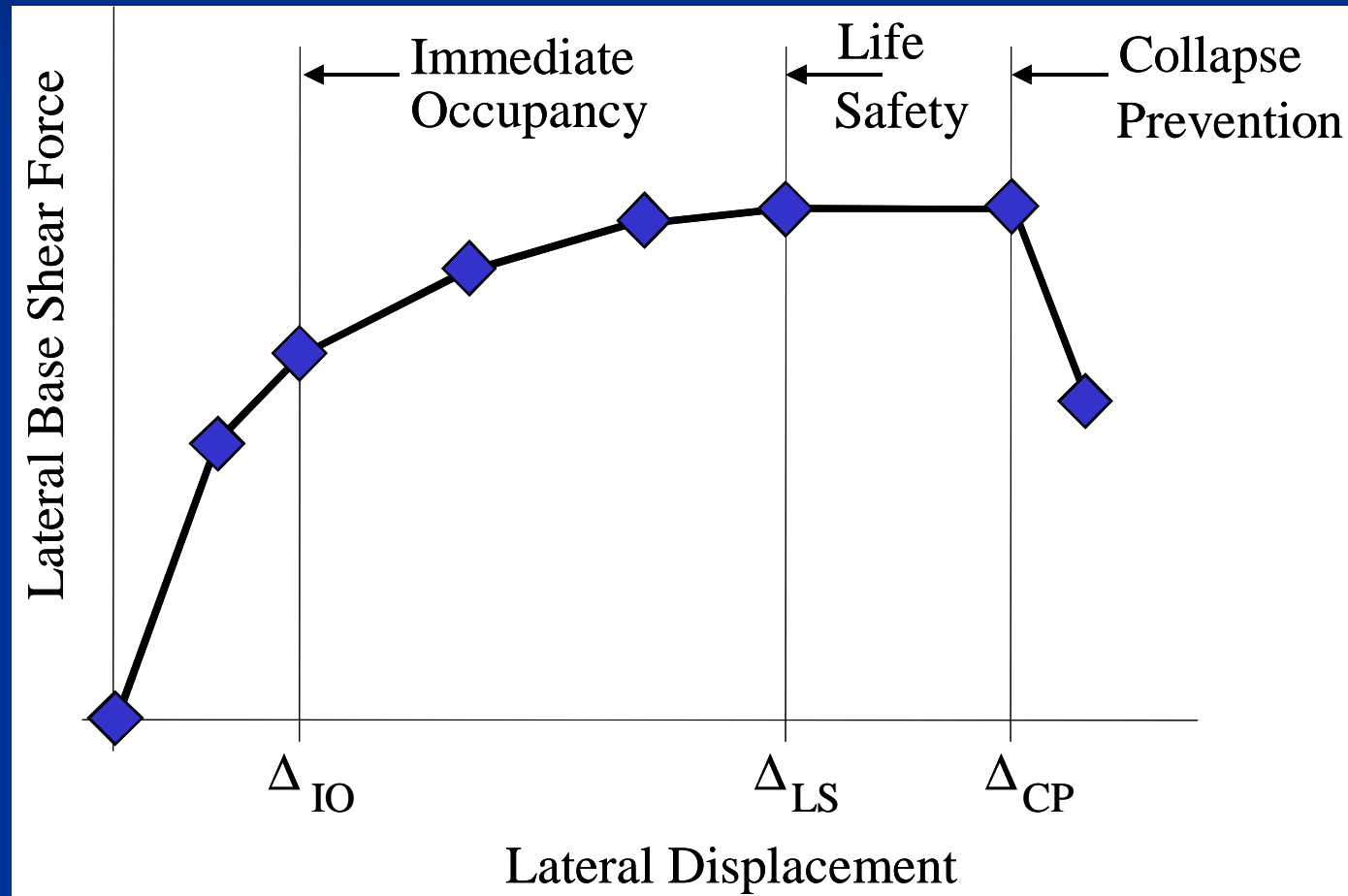
# Progetto basato sulla prestazione richiesta (Performance Base Design )

- Un obiettivo prestazionale rappresenta il tipo di risposta strutturale desiderato (assenza di danno, danno solo ad elementi secondari, danni strutturali limitati o gravi, assenza di collasso) per ciascun livello di azione sismica attesa.
- L'obiettivo prestazionale deve essere fissato sulla base del tipo di utilizzo del manufatto, dell'importanza delle funzioni, considerazioni economiche, costo connesso alla riparazione del danno ed alla interruzione del servizio, etc. .

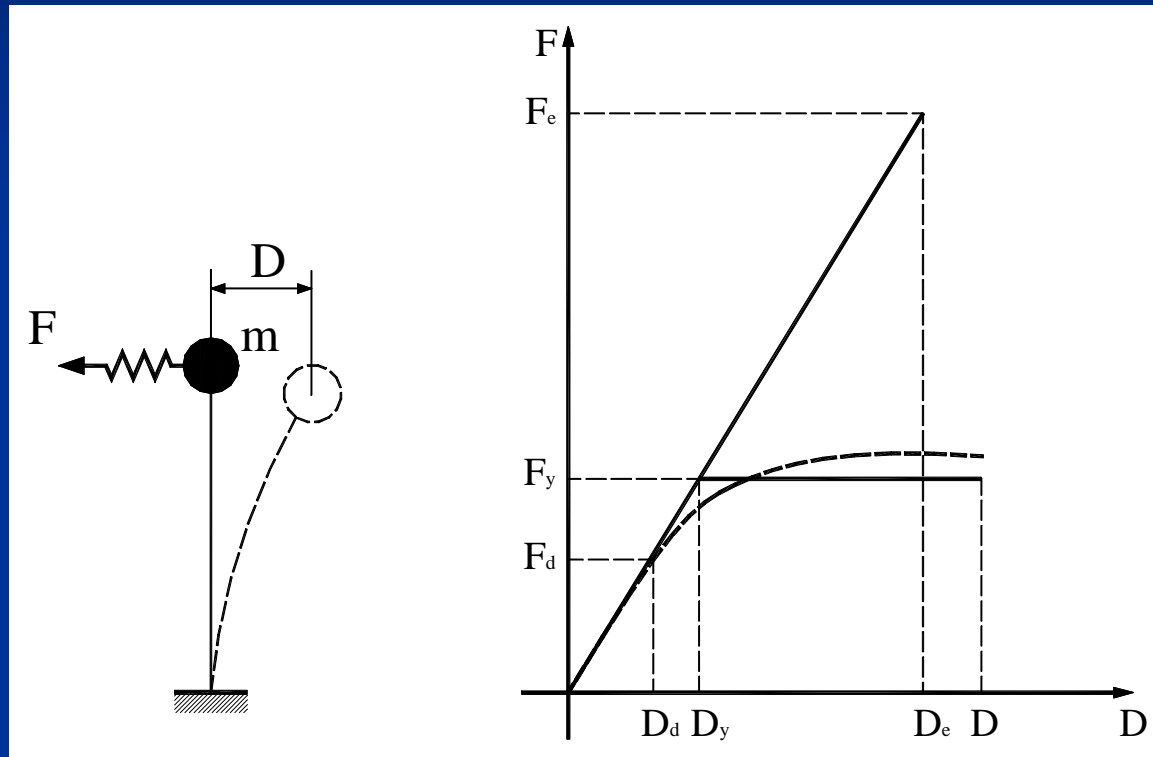
# MATRICE DI “PERFORMANCE”



# CURVA DI PUSHOVER (Analisi statica non lineare)



# Relazione forza-spostamento per sistemi ad 1 grado di libertà (SDOF)



$$q = \frac{F_e}{F_d} = \frac{F_e}{F_y} \frac{F_y}{F_d} = q_\mu q_s$$

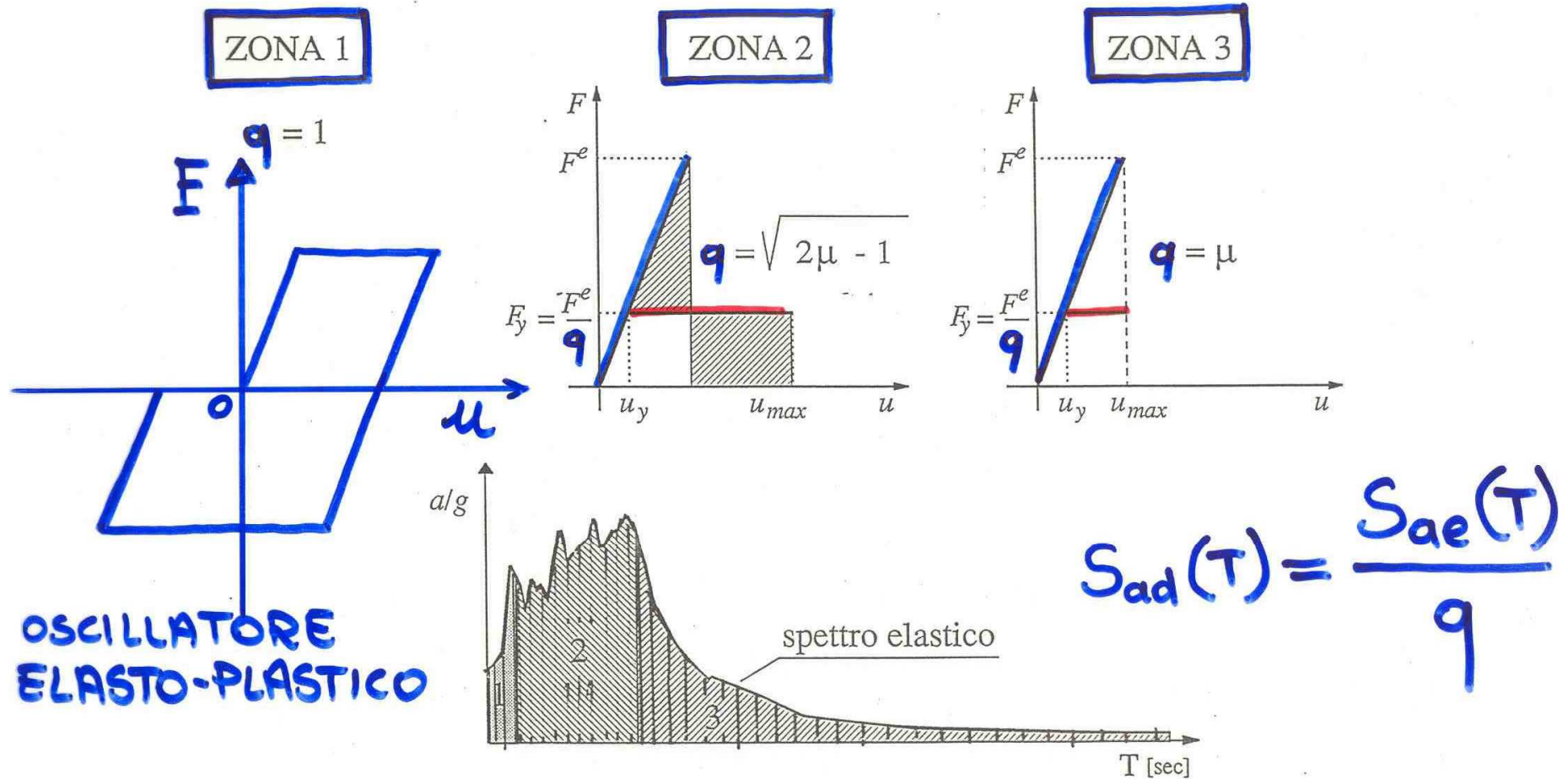
$$q_\mu = \frac{F_e}{F_y}$$

$$q_s = \frac{F_y}{F_d}$$

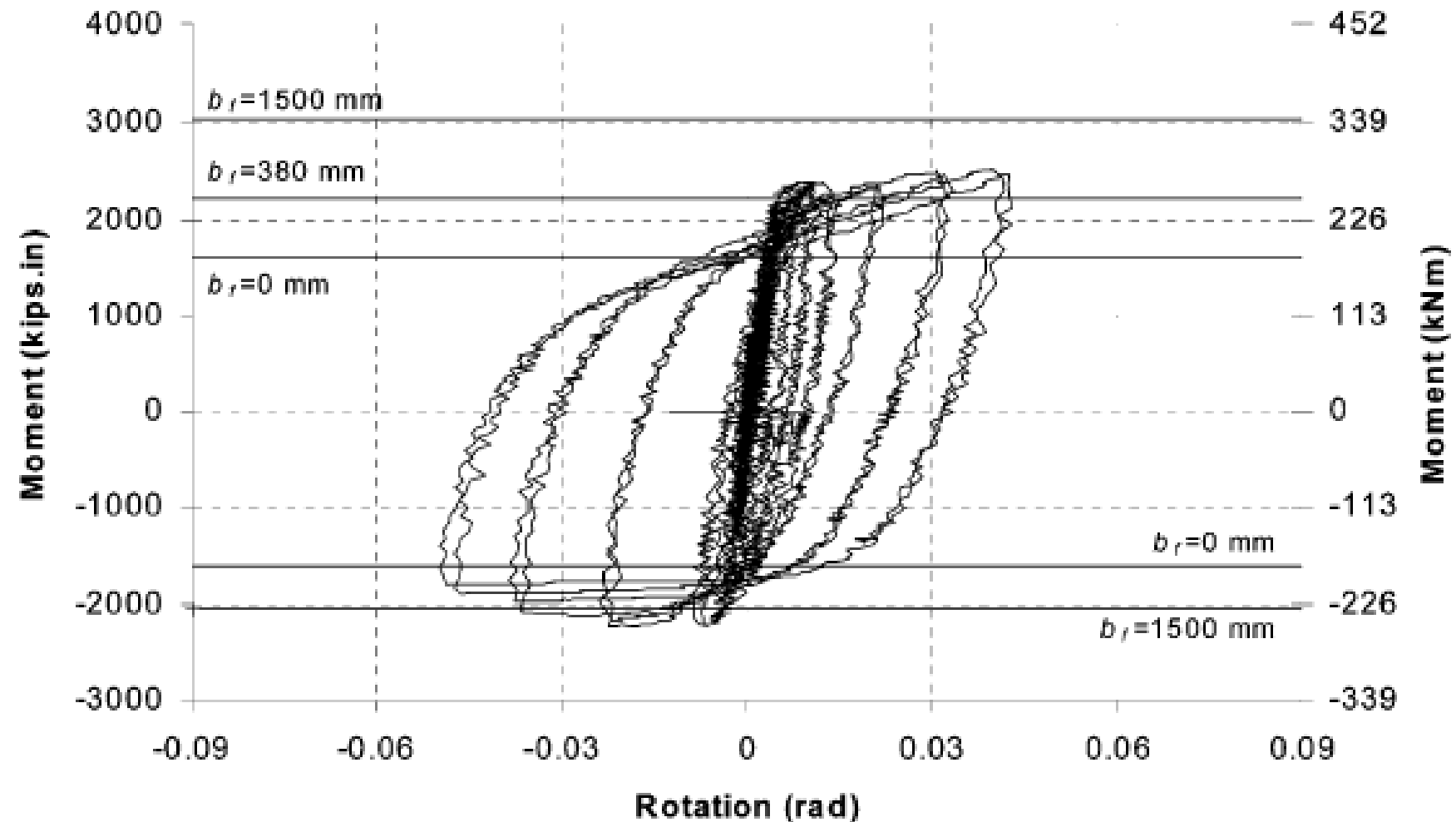
# FATTORE DI STRUTTURA $q$

- Il **fattore di duttilità**  $q_\mu = F_e/F_y$  dipende dal tipo di struttura e dalla duttilità locale delle sezioni e delle membrature (duttilità locale), oltre che dal tipo di meccanismo di collasso che si attiva, più o meno capace di coinvolgere l'insieme della struttura (duttilità globale).
- Il **fattore di sovraresistenza**  $q_s = F_y/F_d$  deriva dalla distribuzione delle sollecitazioni e delle resistenze interne, dalla sovraresistenza dei materiali rispetto a quella di progetto, dall'incrudimento nei materiali metallici, dal sovradimensionamento delle membrature rispetto al progetto, dagli elementi non strutturali.

# DUTTILITÀ E FATTORE DI STRUTTURA



# Comportamento ciclico di membrature composte



# AZIONI E VERIFICHE (SLU – SLD)

## ■ Stato Limite Ultimo (SLU/SLV)

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_j (\psi_{2j} Q_{kj})$$

$$\text{Masse: } G_1 + G_2 + \sum_j (\psi_{2j} Q_{kj})$$

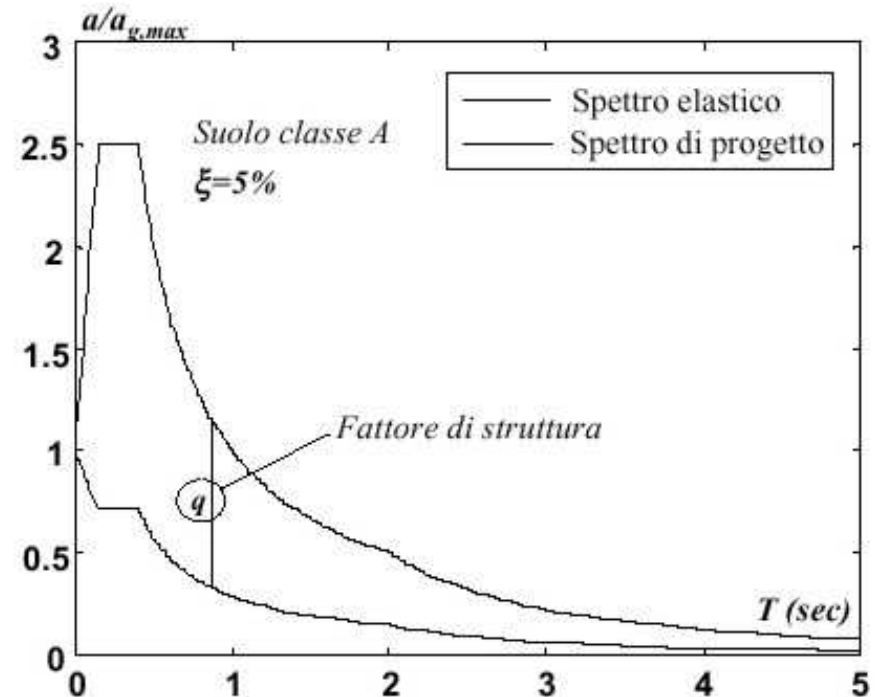
$$S_d(T_1) \cong S_e(T_1) / q$$

$$S_e(T_1) \text{ per } P_{V_R} = 10\%$$

Verifiche di resistenza e di duttilità delle membrature e della struttura.

## ■ Stato Limite di Danno (SLD)

$$S_d(T_1) = S_e(T_1) \text{ per } P_{V_R} = 63\%$$



Controllo degli spostamenti

# **PROGETTAZIONE DI STRUTTURE** **COMPOSTE IN ZONA SISMICA**

- **Stato Limite di Danno – Stato Limite Ultimo**
- **Analisi Strutturale**
  - definizione della rigidezza delle membrature composte
- **Verifiche di Resistenza**
  - verifiche di resistenza degli elementi strutturali, definizione della larghezza collaborante delle solette, ecc.
- **Duttilità locale**
  - criteri di dimensionamento di sezioni e collegamenti per ottenere una adeguata duttilità locale
- **Duttilità globale**
  - criteri di dimensionamento degli elementi strutturali per ottenere una adeguata duttilità globale (**Capacity Design – Gerarchia delle Resistenze**)

# QUADRO NORMATIVO

## PRECEDENTE:

- D. Min. LL.PP. del 09/01/1996
- CNR 10016/98
- Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/03/2003

## ATTUALE:

- **Norme Tecniche per le Costruzioni - D. Min. II.TT. 14/01/2008**

- **Eurocodice 4**

Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures  
- Part 1-1: General rules and rules for buildings

- **Eurocodice 8**

**Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance**  
**Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings**

# 7.6 COSTRUZIONI COMPOSTE DI ACCIAIO-CALCESTRUZZO

- 7.6.1 Caratteristiche dei Materiali
- 7.6.2 Tipologie strutturali e fattori di struttura
- 7.6.3 Rigidezza della sezione trasversale composta
- 7.6.4 Criteri di progetto e dettagli per strutture dissipative
- 7.6.5 Regole specifiche per le membrature
- 7.6.6 Regole specifiche per strutture intelaiate
- 7.6.7 Regole specif. per strutture con controventi concentrici
- 7.6.8 Regole specif. per strutture con controventi eccentrici

## 7.6 GENERALITÀ (PRINCIPI DI PROGETTAZIONE)

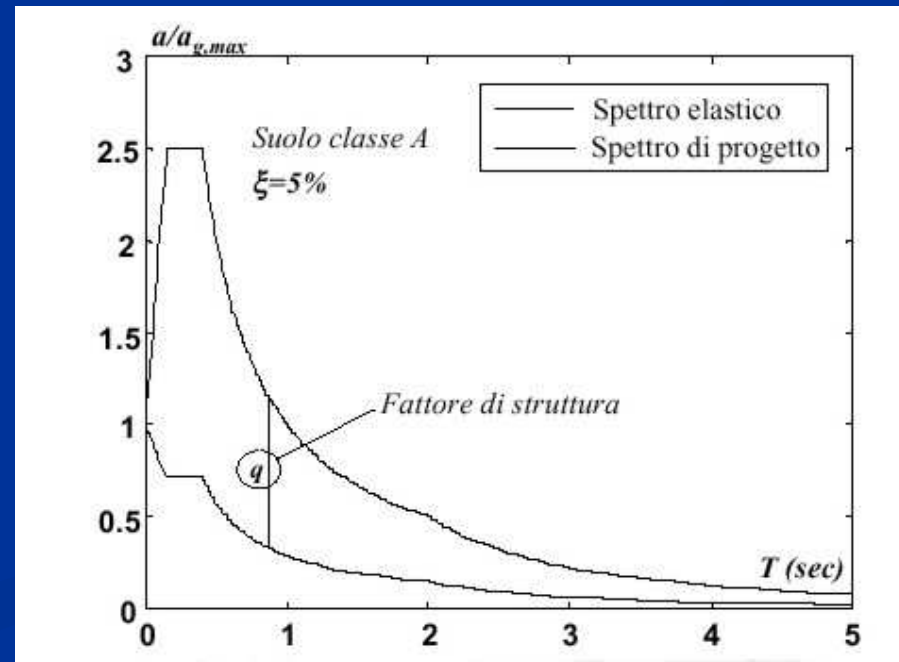
- Gli edifici con struttura sismo-resistente composta acciaio-calcestruzzo devono essere progettati assumendo uno dei seguenti comportamenti strutturali:
  - a. Comportamento strutturale **dissipativo** con meccanismi di dissipazione in componenti e membrature composte acciaio-calcestruzzo.
  - b. Comportamento strutturale **dissipativo** con meccanismi di dissipazione in componenti e membrature in acciaio strutturale.
  - c. Comportamento strutturale **non dissipativo**.

# PRINCIPI DI PROGETTAZIONE/2

## COMPORTAMENTO STRUTTURALE DISSIPATIVO

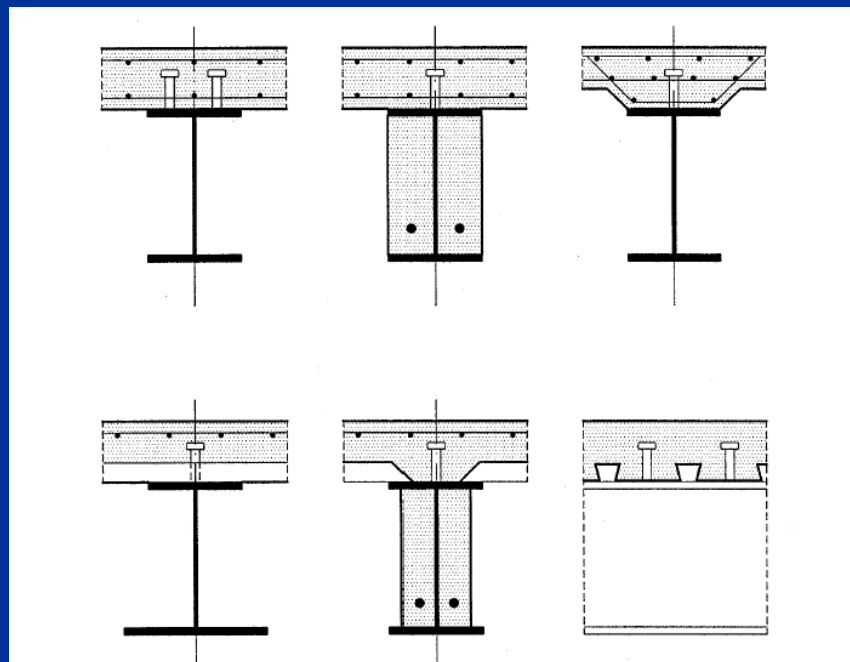
- Casi a) e b) -

- Capacità di parti della struttura (zone dissipative) di rispondere alle azioni sismiche oltre il campo elastico.
- Per la determinazione dello spettro di progetto si adotta un **fattore di struttura  $q > 1$**  in relazione alla tipologia strutturale ed ai criteri di progettazione.



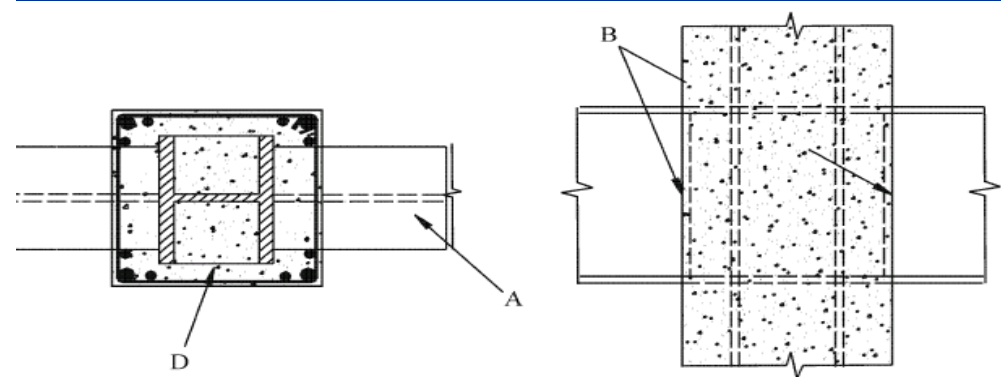
# PRINCIPI DI PROGETTAZIONE/3

- Nel caso a) (comportamento strutturale dissipativo in membrature composte), i criteri di progetto delle zone dissipative per garantire una sufficiente duttilità vengono forniti nei **punti 7.6.4 e 7.6.5** delle norme.



Travi

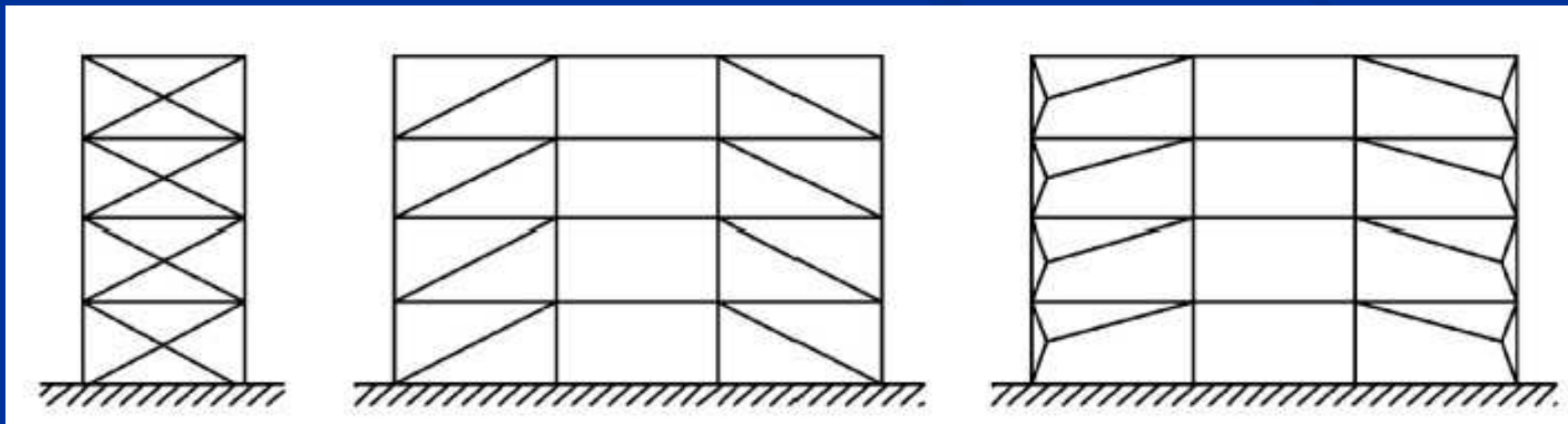
Collegamenti



c)

# PRINCIPI DI PROGETTAZIONE/4

- Nel caso b) (comportamento strutturale dissipativo in membrature di acciaio) non si deve prendere in considerazione nelle zone dissipative l'azione composta, e pertanto le parti composte devono essere progettate secondo le **NTC-2008** per le combinazioni di carico non sismiche, mentre le parti metalliche (che devono avere capacità dissipative) devono essere progettate **secondo le indicazioni delle norme per le strutture metalliche (punto 7.5)**.



## PRINCIPI DI PROGETTAZIONE/5

- Nel caso c) (**comportamento strutturale non dissipativo**) gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati, assumendo **un fattore di struttura  $q = 1$** , indipendentemente dalla tipologia strutturale, e verificando le membrature composte acciaio-calcestruzzo secondo le **NTC-2008**.

## 7.6.1 MATERIALI

### Calcestruzzo:

- Come per le strutture in c.a. non è ammesso l'uso di calcestruzzi di classe inferiore a **C20/25**, ovvero con resistenza caratteristica cilindrica ( $f_{ck}$ ) o cubica ( $R_{ck}$ ) inferiori a 20 o 25 MPa rispettivamente.
- Non sono previsti calcestruzzi di classe superiore a **C40/50**, ovvero con resistenza cilindrica ( $f_{ck}$ ) o cubica ( $R_{ck}$ ) superiori a 40 o 50 MPa rispettivamente.

# MATERIALI/2

## Acciaio per armatura:

- L'acciaio per c.a. deve essere del tipo **B450C** con i seguenti requisiti:
  - $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
  - $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
  - allungamento uniforme al carico massimo (frattile al 10% inferiore):  $\epsilon_{su,k} > 7.5\%$  ;
  - rapporto tra resistenza e tensione di snervamento (valore medio del rapporto):  $1.15 < f_t/f_y < 1.35$  ;
  - rapporto medio tra valore effettivo e valore nominale della resistenza a snervamento:  $f_{y,eff}/f_{y,nom} < 1.25$  .

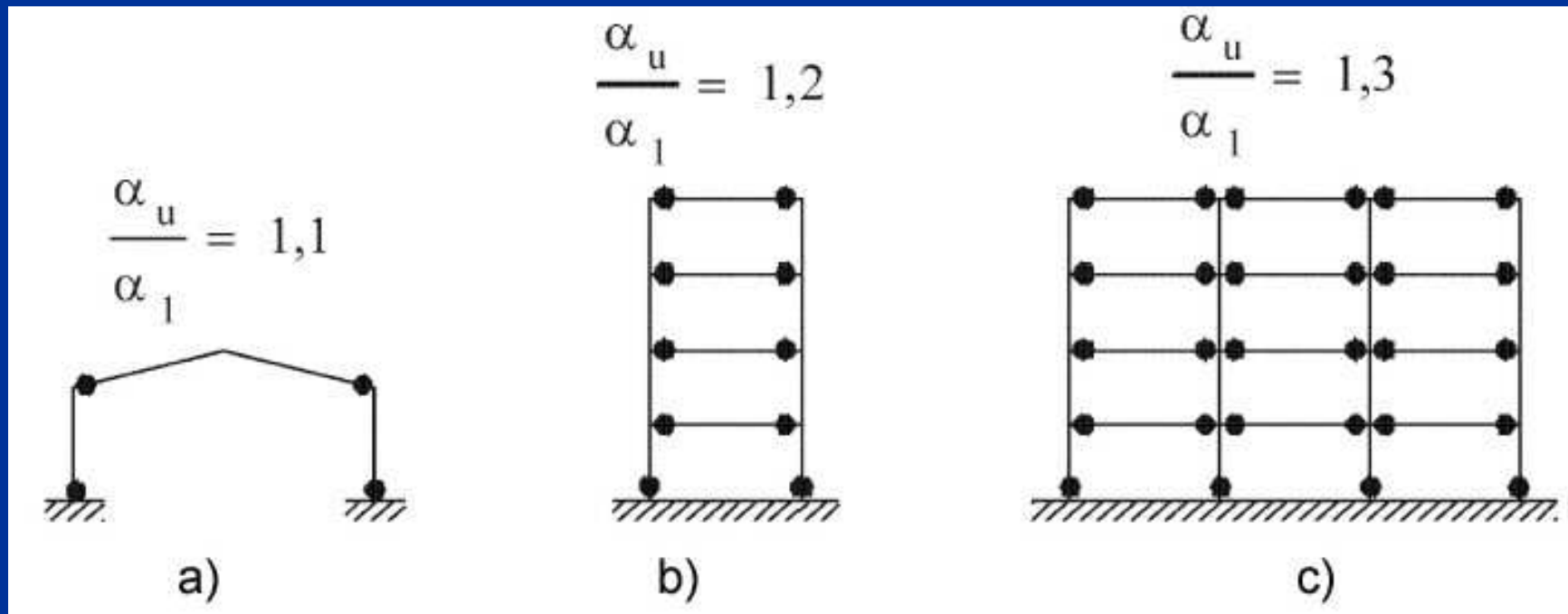
# MATERIALI/3

## Acciaio strutturale:

- Nelle **zone dissipative dei casi a) e b)** ( $q > 1$ ) l'acciaio deve avere i seguenti requisiti:
  - allungamento a rottura  $\varepsilon_{au} > 20\%$  ;
  - rapporto tra resistenza e tensione di snervamento (valore medio del rapporto):  $(f_u/f_y)_k > 1.20$  ;
  - tensione di snervamento massima:  $f_{y,max} \leq 1.20 f_{yk}$  ;
  - collegamenti bullonati con bulloni di classe 8.8 e 10.9 serrati con precarico da giunzione ad attrito.

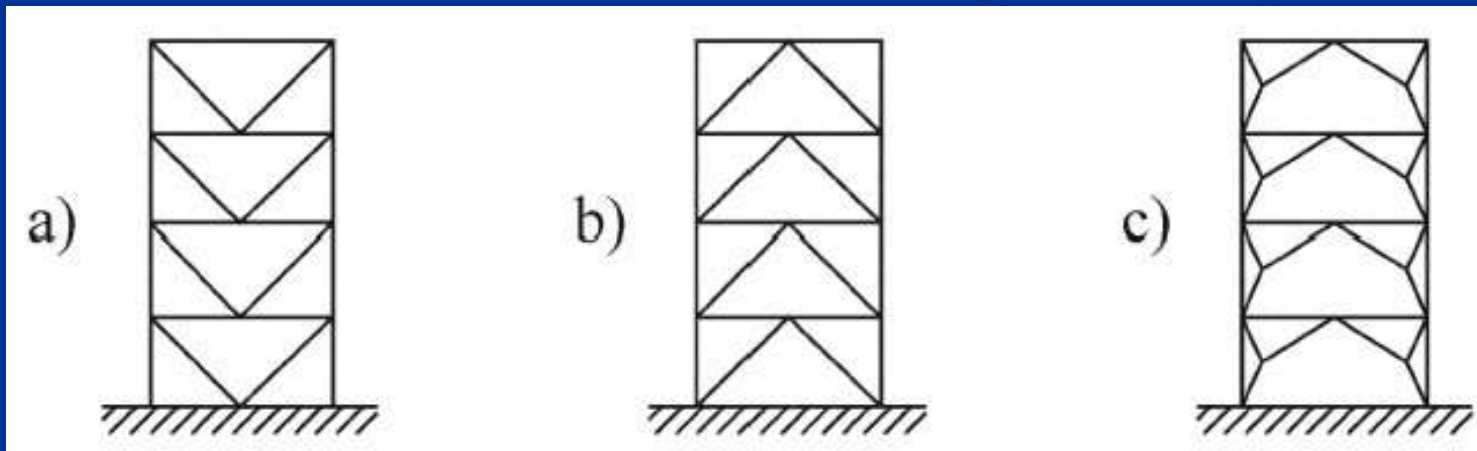
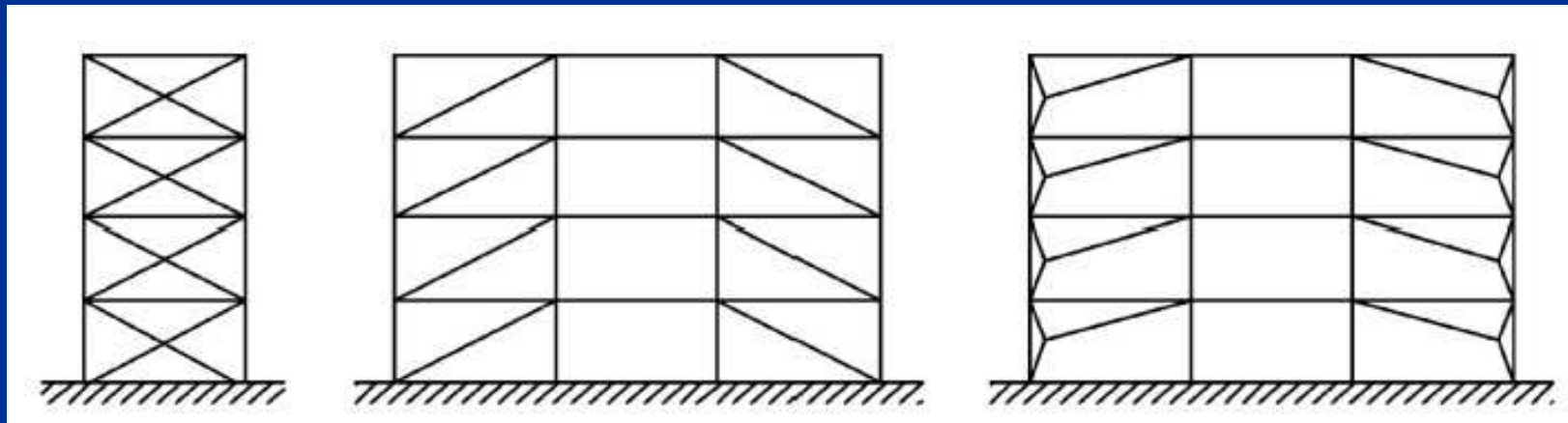
## 7.6.2 TIPOLOGIE STRUTTURALI E FATTORI DI STRUTTURA

- STRUTTURE INTELAIATE, nelle quali le travi e le colonne possono essere composte acciaio-calcestruzzo.



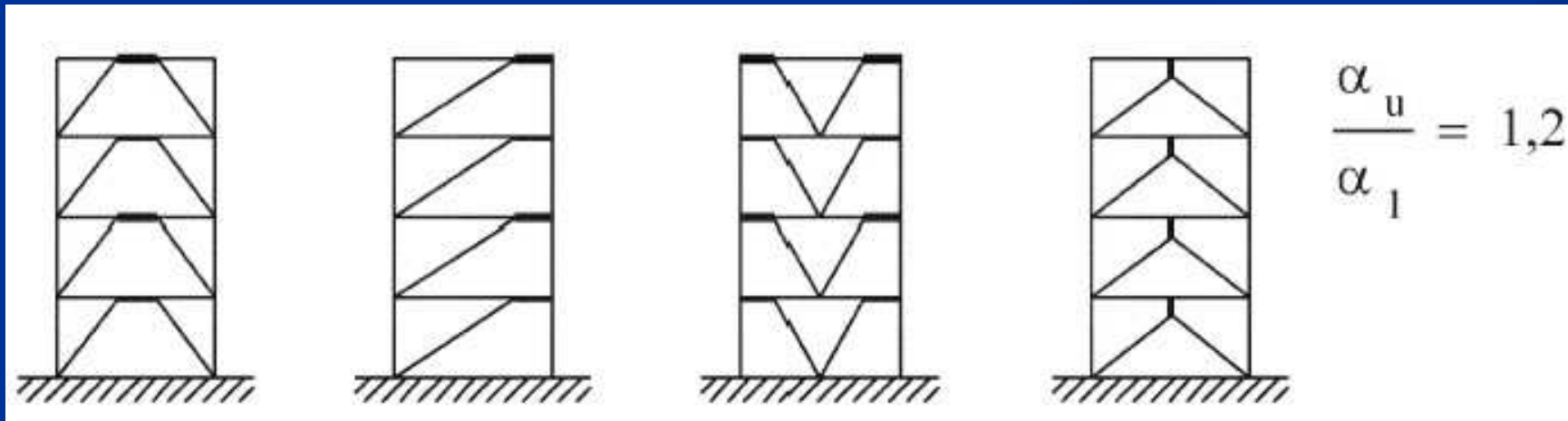
# TIPOLOGIE STRUTTURALI/2

- STRUTTURE CON CONTROVENTI CONCENTRICI, nelle quali le travi o le colonne possono essere composte acciaio-calcestruzzo; i controventi sono invece in acciaio strutturale.



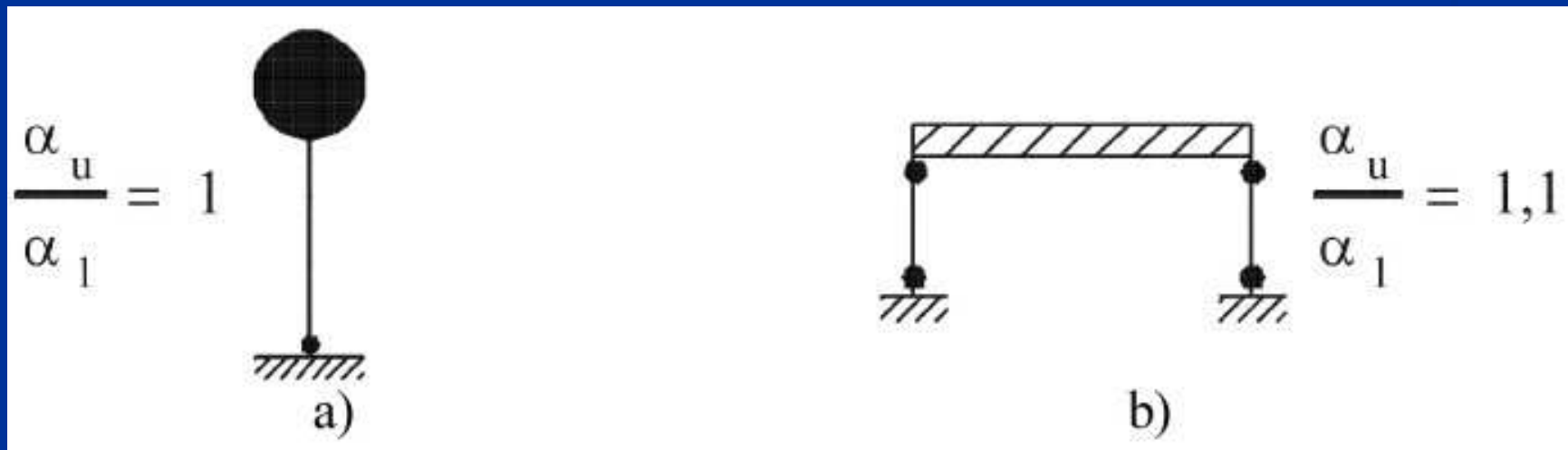
## TIPOLOGIE STRUTTURALI/3

- STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI, nelle quali le aste che non contengono i controventi possono essere composte oppure in acciaio strutturale. I **link dissipativi** devono essere realizzati in acciaio strutturale e la dissipazione di energia viene conseguita per plasticizzazione a taglio degli stessi.



# TIPOLOGIE STRUTTURALI/4

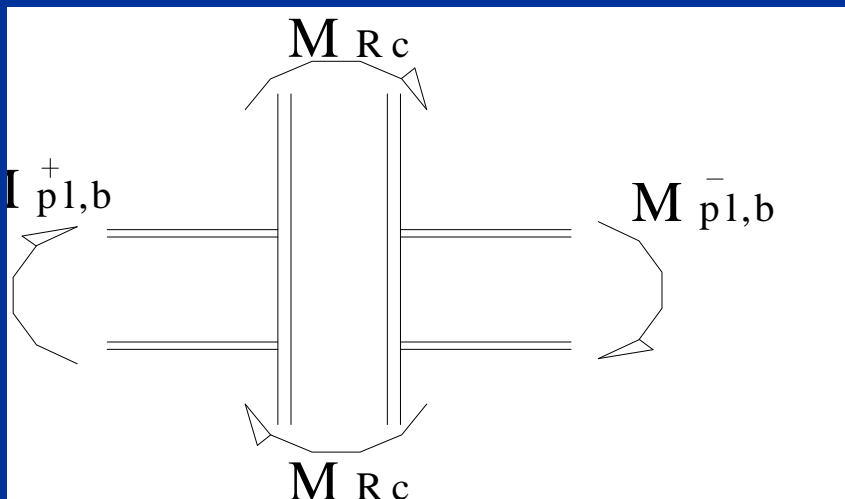
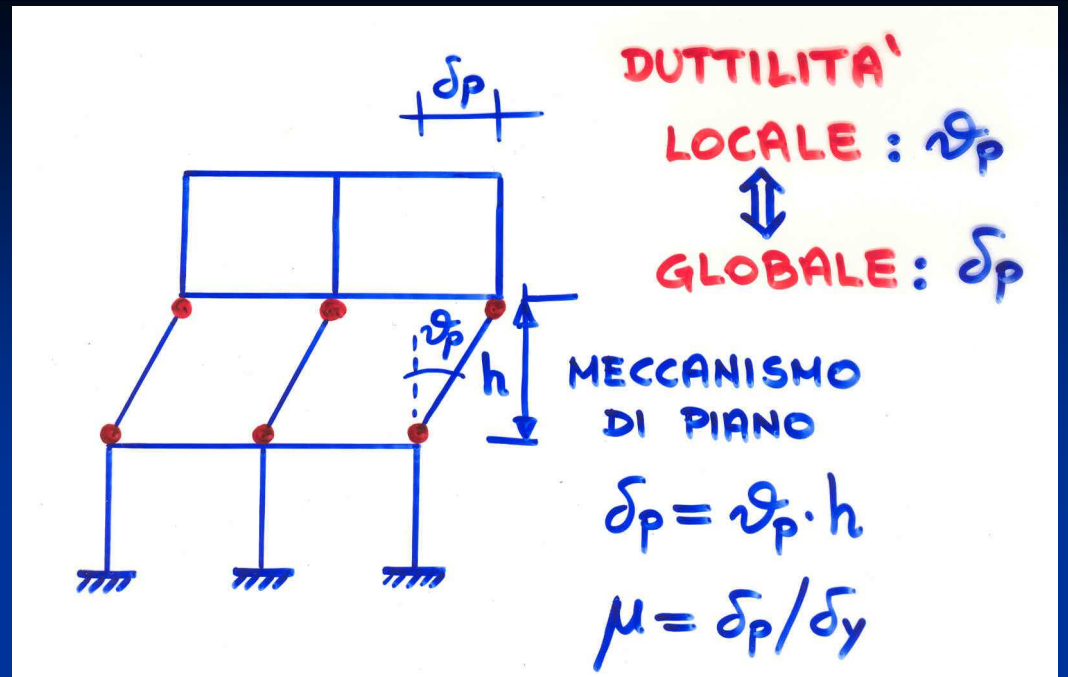
- STRUTTURE A MENSOLA O A PENDOLO INVERSO, costituite da membrature presso-inflesse in cui le zone dissipative sono collocate alla base.



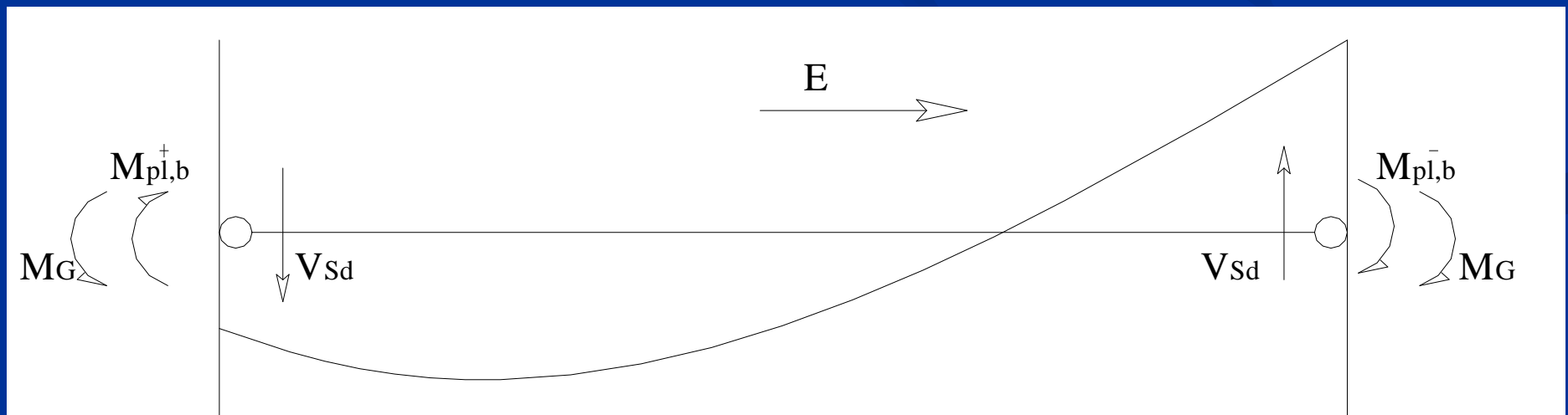
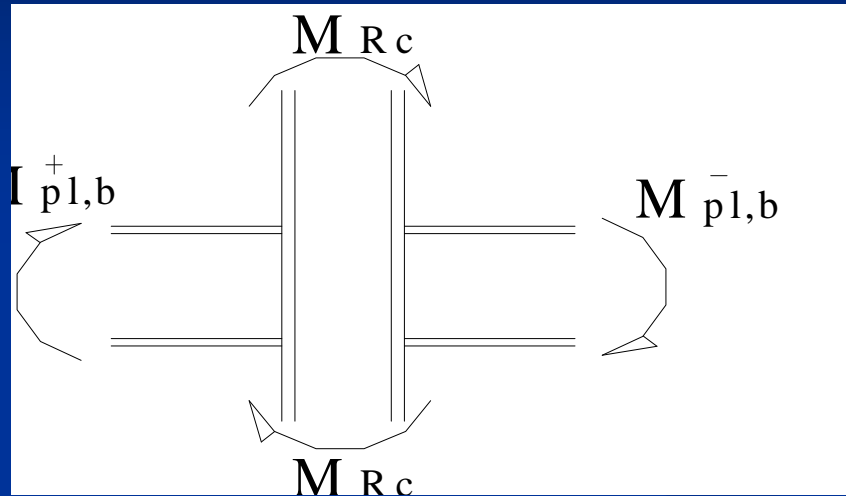
# CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

- I criteri di dimensionamento sono simili a quelli validi per le strutture in acciaio.
- Per le strutture intelaiate e con controventi concentrici ed eccentrici, si distinguono due classi di duttilità:
  - **Strutture a bassa duttilità**
  - **Strutture ad alta duttilità**
- A tali strutture corrispondono i seguenti criteri di dimensionamento:
  - Bassa duttilità: criteri semplificati di **controllo del meccanismo di collasso**, adottando il criterio della **gerarchia delle resistenze** nel dimensionamento degli elementi non dissipativi; dettagli costruttivi per conseguire sufficiente duttilità locale.
  - Alta duttilità: i criteri semplificati di **controllo del meccanismo di collasso**, basati sul criterio della **gerarchia delle resistenze**, ed i dettagli costruttivi sono più severi; elementi dissipativi di classe 1.

Il **critério di gerarchia delle resistenze** ("trave debole-colonna forte") nel progetto delle membrature ha l'obiettivo di assicurare una alta duttilità globale (**Capacity Design**)



# Criterion of hierarchy of resistances ("weak-beam-strong-column")



# CRITERIO DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE TRAVE-COLONNA (NTC 2008)

(Amplificazione della resistenza delle colonne)

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

$\gamma_{Rd} = 1.3$  per strutture in classe CD "A" ;

$\gamma_{Rd} = 1.1$  per strutture in classe CD "B" .

$M_{C,pl,Rd}$  è il momento resistente allo s.l.u. nelle colonne ridotto per la azione assiale

$M_{b,pl,Rd}$  è il momento resistente allo s.l.u. nelle travi

N.B.:  $M_{b,pl,Rd} = M_{b,U,Rd} = 1.1\gamma_{Rd}M_{b,Rd}$   
(momento resistente "limite superiore" nelle travi)

## [Par. 7.6.6 - REGOLE SPECIFICHE PER STRUTTURE INTELAIATE]

- Al fine di conseguire un comportamento duttile, i telai devono essere progettati in maniera tale che le **cerniere plastiche si formino nelle travi piuttosto che nelle colonne** ⇒ **GERARCHIA DELLE RESISTENZE**.
- Questo requisito non è richiesto con riferimento alle sezioni di base del telaio, alle sezioni di sommità delle colonne dell'ultimo piano degli edifici multipiano e nel caso di edifici monopiano.
- Alle **travi composte** si deve conferire un **adeguato livello di duttilità**, in modo da poter garantire l'integrità delle componenti in calcestruzzo sotto azioni sismiche.
- I **collegamenti trave-colonna** devono possedere un'adeguata **sovraresistenza** e quindi consentire l'innescò di fenomeni di plasticizzazione all'estremità delle travi.<sup>31</sup>

# FATTORE DI STRUTTURA

- Il fattore di struttura  $q$  per ciascuna direzione della azione sismica è dato dalla seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot k_R$$

$q_0$  , valore di riferimento di  $q$  dipendente dalla **tipologia strutturale** e dalla **classe di duttilità** (alta o bassa)

$k_R = 1.0$  per edifici regolari in altezza  
 $0.8$  per edifici non regolari in altezza

# Valori di $q_0$

**Tabella 7.5.II** – Limiti superiori dei valori di  $q_0$  per le diverse tipologie strutturali e le diverse classi di duttilità.

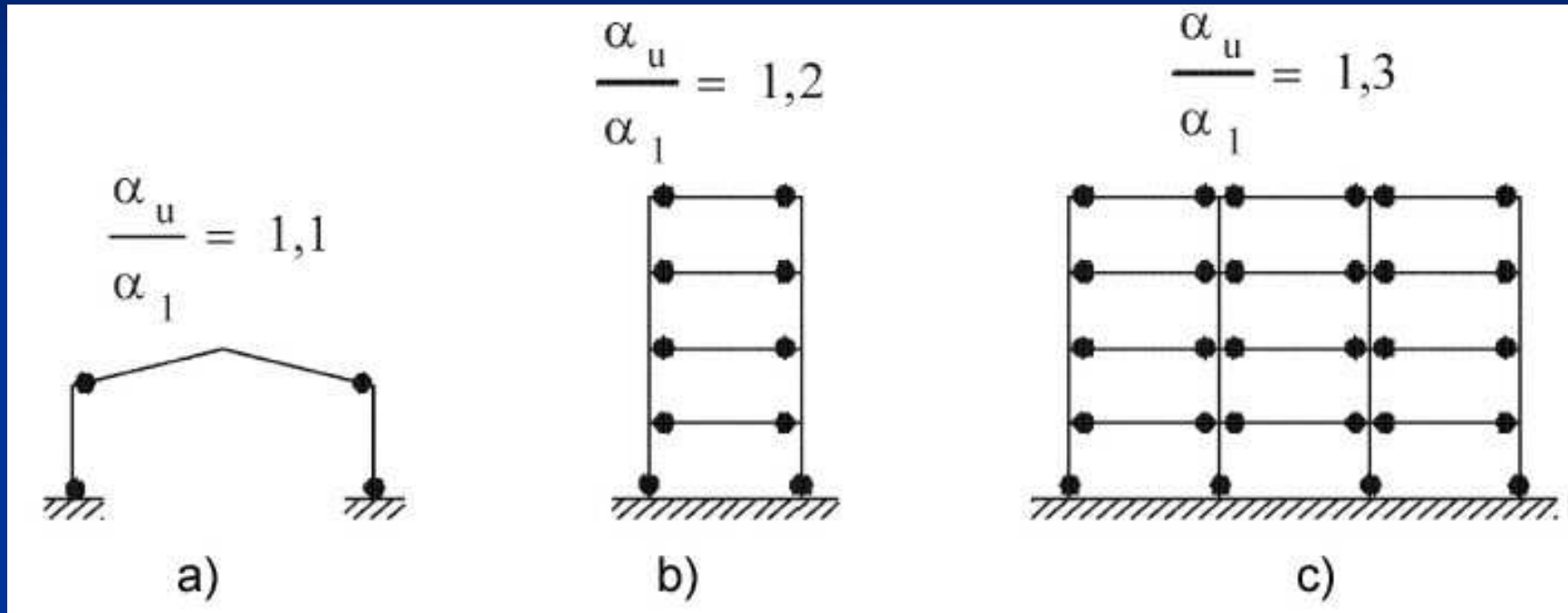
TIPOLOGIA STRUTTURALE	$q_0$	
	CD "B"	CD "A"
a) Strutture intelaiate c) Strutture con controventi eccentrici	4	$5\alpha_w/\alpha_1$
b1) Controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4	4
b2) Controventi concentrici a V	2	2,5
d) Strutture a mensola o a pendolo inverso	2	$2\alpha_w/\alpha_1$
e) Strutture intelaiate con controventi concentrici	4	$4\alpha_w/\alpha_1$
f) Strutture intelaiate con tamponature in muratura	2	2

# Moltiplicatori delle azioni orizzontali $\alpha_u$ ed $\alpha_1$

- $\alpha_u/\alpha_1$  = coefficiente di redistribuzione plastica
- $\alpha_1$  = moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la sua resistenza flessionale;
- $\alpha_u$  = moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale si verifica la formazione di un meccanismo.
- Il valore di  $\alpha_u/\alpha_1$  può essere calcolato mediante una analisi statica non lineare e **non può essere > 1.5**.
- Se non si effettua una analisi non lineare per la valutazione del rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$ , si possono adottare i valori suggeriti dalla normativa.

# Coefficiente di redistribuzione plastica $\alpha_u/\alpha_1$

## ■ STRUTTURE INTELAIATE



a) edifici di un solo piano:

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1.1$$

b) edifici a più piani con una sola campata:

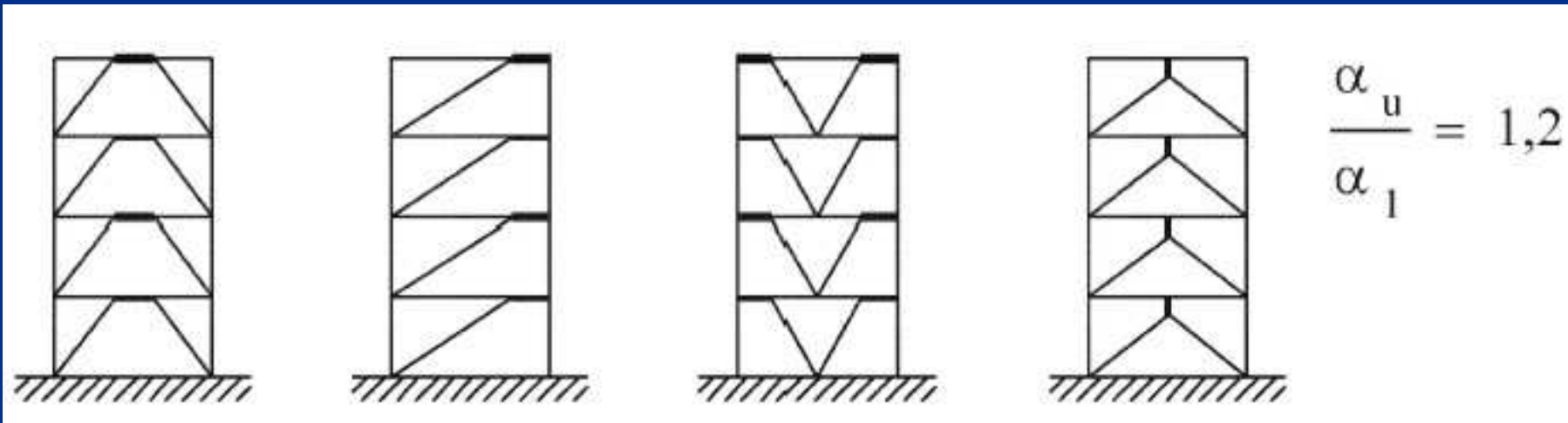
$$\alpha_u/\alpha_1 = 1.2$$

c) edifici con più piani e più campate:

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1.3$$

# Coefficiente di redistribuzione plastica $\alpha_u/\alpha_1$

## ■ STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

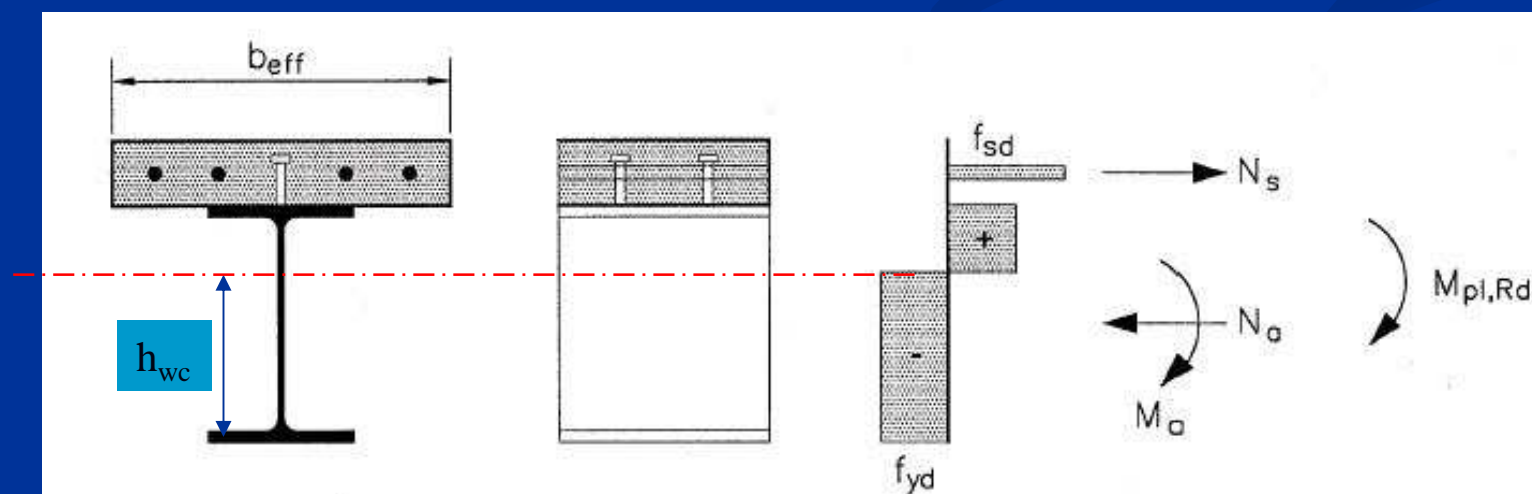


$$\alpha_u/\alpha_1 = 1.2$$

# DUTTILITA' DELLE SEZIONI

- Si deve garantire una duttilità locale sufficiente negli elementi che dissipano energia (rif. Par. 7.5.3.1):

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



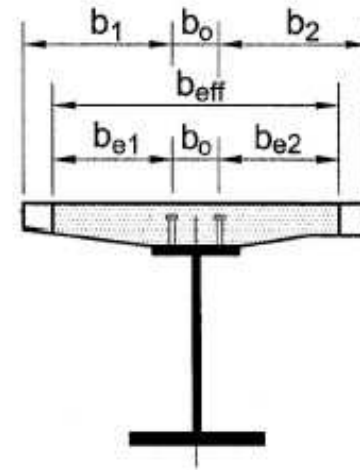
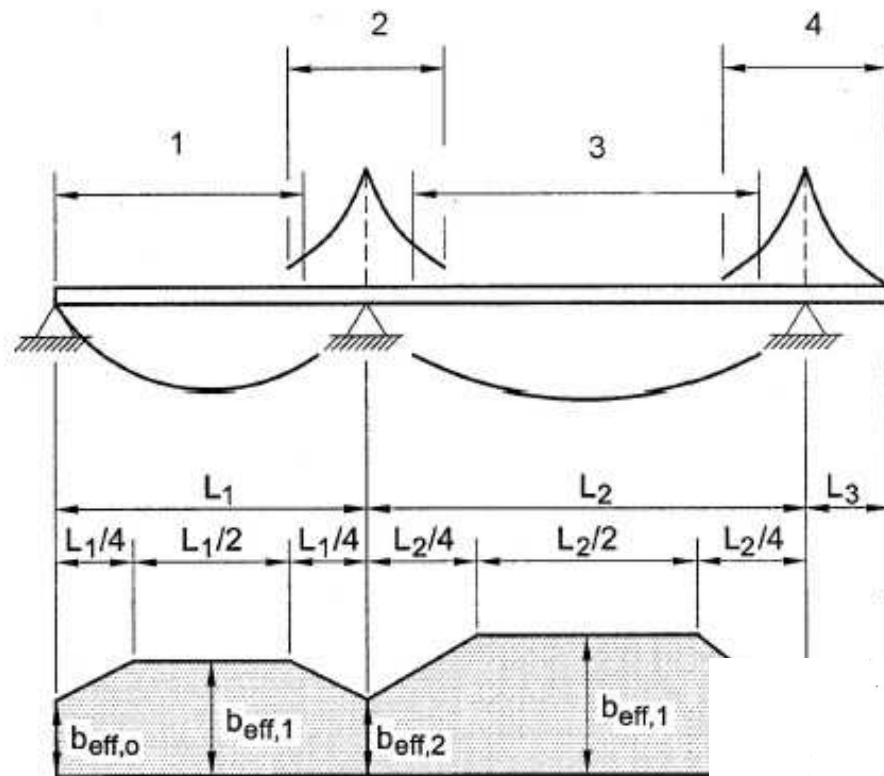
# 7.6.6.1 ANALISI STRUTTURALE

## ANALISI STATICA o ANALISI DINAMICA MODALE

- Per l'**analisi strutturale, statica o dinamica modale**, il calcolo delle rigidezze deve tener conto:
  - del **coefficiente di omogeneizzazione**  $n = E_a/E_{cm}=7$  nelle zone con calcestruzzo compresso, essendo  $E_{cm}$  il modulo elastico secante del calcestruzzo;
  - del momento di **inerzia  $I_1$  nelle zone non fessurate** con la **larghezza collaborante** delle solette in cls;
  - del **momento di inerzia  $I_2$  delle sole parti metalliche** (profilo ed armature) nelle **zone con soletta fessurata**.
- Per la definizione delle inerzie nelle zone fessurate e non fessurate sono fornite in seguito **modelli semplificati con inerzie equivalenti** (punto 7.6.6.1).

# ANALISI STRUTTURALE/2

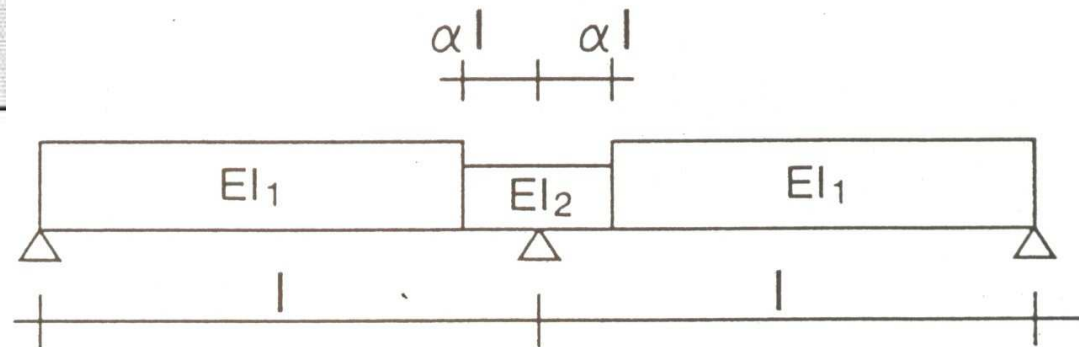
- Definizione della larghezza efficace e delle rigidezze



$$b_{e,i} = L_o/8$$

## Key

- $L_e = 0,85 L_1$  for  $b_{eff,1}$
- $L_e = 0,25 (L_1 + L_2)$  for  $b_{eff,2}$
- $L_e = 0,70 L_2$  for  $b_{eff,1}$
- $L_e = 2 L_3$  for  $b_{eff,2}$

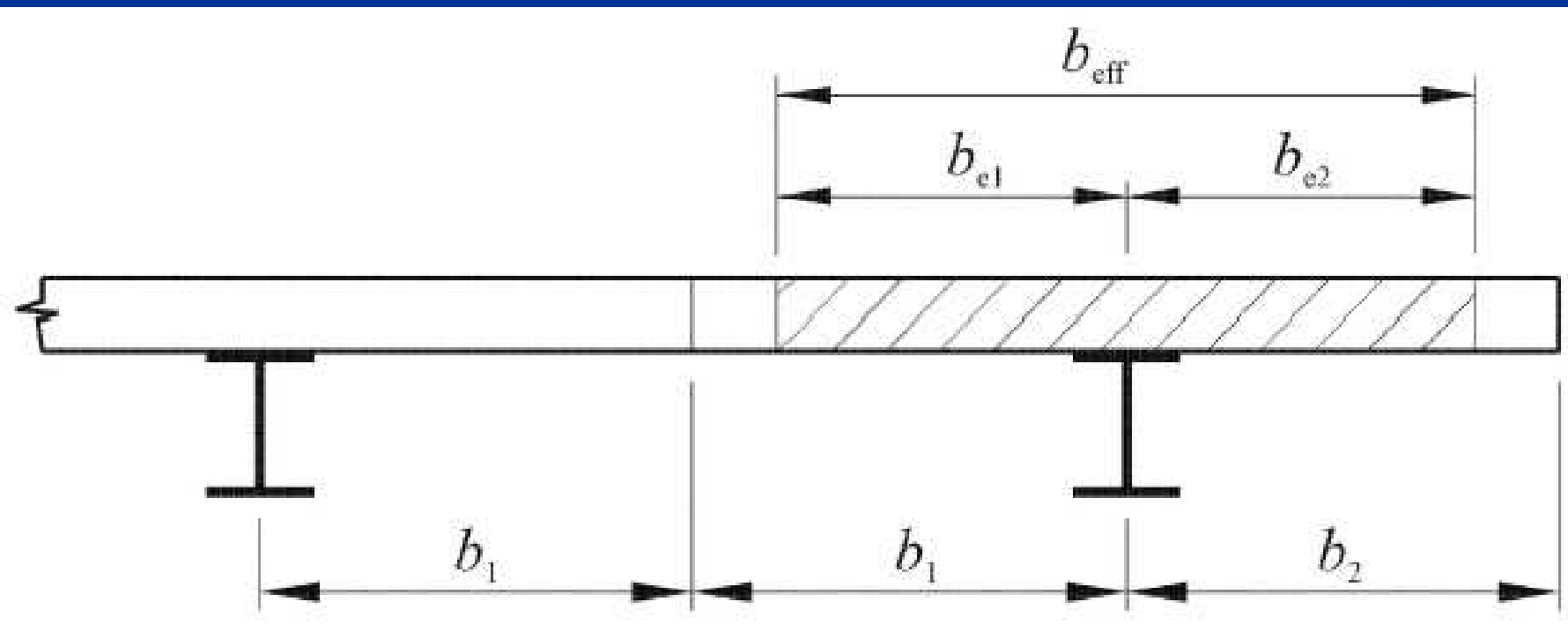


# ANALISI STRUTTURALE/3

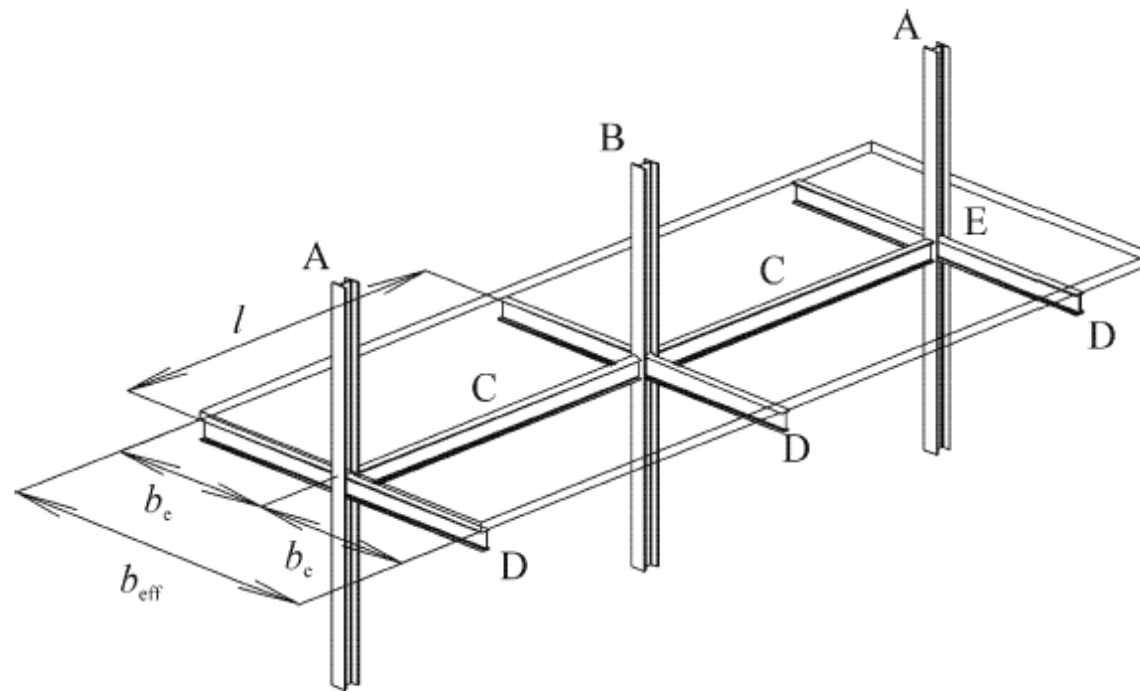
## Travi composte acciaio-calcestruzzo (punto 7.6.3)

La determinazione delle caratteristiche geometriche della sezione composta va effettuata considerando un'appropriata **larghezza collaborante della soletta e delle relative armature longitudinali**:

$$b_{\text{eff}} = b_{e1} + b_{e2} + b_c$$



# ANALISI STRUTTURALE/4



Larghezza efficace per il calcolo della rigidità flessionale da utilizzare nell'analisi strutturale

Tabella 7.6.III - Definizione della larghezza efficace parziale per il calcolo della rigidità flessionale..

	Membratura trasversale	Larghezza efficace parziale $b_{ei}$
Nodo/Colonna interni	Presente o non presente	Per $M^-$ : 0,05 L
Nodo/Colonna esterni	Presente	Per $M^+$ : 0,0375 L
Nodo/Colonna esterni	Non presente/Armatura non ancorata	Per $M^-$ : 0 Per $M^+$ : 0,025 L

# ANALISI STRUTTURALE/5

## Punto 7.6.6.1 (Analisi strutturale - fessurazione)

- Rigidezze flessionali dedotte sulla base del principio dell'omogeneizzazione dei materiali.
- Nelle **travi composte**, l'analisi strutturale va condotta suddividendo le travi in due zone, fessurata (rigidezza flessionale,  $EI_2$ ) e non fessurata (rigidezza flessionale,  $EI_1$ ). In alternativa è possibile assumere un **momento di inerzia equivalente** costante lungo l'intera trave,  $I_{eq}$ , dato dalla relazione:

$$I_{eq} = 0.6 I_1 + 0.4 I_2$$

- La **rigidezza flessionale delle colonne composte** può essere assunta pari a:

$$(EI)_c = 0.9 \cdot (EI_a + r \cdot E_{cm} I_c + EI_s)$$

nella quale  $E$  ed  $E_{cm}$  sono i moduli di elasticità dell'acciaio e del calcestruzzo,  $I_a$ ,  $I_c$ ,  $I_s$  sono i momenti di inerzia della sezione in acciaio, del calcestruzzo e delle armature rispettivamente. Il coefficiente di riduzione  $r$  dipende in generale dal tipo di sezione trasversale (può essere assunto generalmente pari a 0.5).

## 7.6.4 CRITERI DI PROGETTO E DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

### Generalità

- I criteri di progetto riportati di seguito si applicano alle **strutture dissipative**
- Le strutture che rispettano i **criteri di progetto** ed i **dettagli costruttivi** (relativi alle **zone dissipative**) indicati possono essere ritenute dissipative

### Criteri di progetto per le strutture dissipative

- Il progetto delle strutture composte deve garantire una risposta globale stabile anche in presenza di fenomeni locali di plasticizzazione, instabilità o altri connessi al comportamento isteretico della struttura.
- A tale scopo occorre dotare le zone dissipative di **adeguata resistenza e duttilità**.

# CRITERI DI PROGETTO E DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE/2

- Comportamento strutturale dissipativo **tipo b**: la **resistenza** va valutata per le parti in **carpenteria metallica** con riferimento alle NTC 2008.
- Comportamento strutturale dissipativo in componenti e membrature composte (**tipo a**): la **resistenza** va valutata con riferimento alle NTC 2008.
- La **duttilità** viene conseguita con specifiche regole e dettagli costruttivi.
- Se **capacità dissipativa** è **nelle membrature**, le connessioni e le parti strutturali non dissipative devono essere dotate di adeguata sovrarresistenza.

# CRITERI DI PROGETTO E DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE/3

## Resistenza plastica delle zone dissipative

- La progettazione sismica delle strutture composte acciaio-calcestruzzo è incardinata sulla valutazione di **due valori della resistenza plastica** delle sezioni trasversali nelle zone dissipative:

- il limite inferiore della resistenza ( $M_{pl.Rd}$ ) va impiegato nelle **verifiche di progetto** del tipo

$$M_{Ed} < M_{pl.Rd}$$

essendo  $M_{Ed}$  il valore del momento in condizioni sismiche.

- il limite superiore della resistenza ( $M_{U.Rd}$ ) va impiegato per le verifiche inerenti la **gerarchia delle resistenze** necessaria per lo sviluppo dei meccanismi di collasso prescelti ( $M_{U.Rd} = M_{pl.Rd} = 1.1 \gamma_{Rd} \cdot M_{pl.Rd}$ ).

# CRITERI DI PROGETTO E DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE/4

- Il limite inferiore della resistenza ( $M_{pl,Rd}$ ) va calcolato considerando le componenti in calcestruzzo e solo le componenti metalliche della sezione classificate come duttili.
- Il limite superiore della resistenza ( $M_{U,Rd}$ ) va calcolato considerando le componenti in calcestruzzo e tutte le componenti metalliche della sezione (incluse quelle non classificate come duttili). Il limite superiore della resistenza ( $M_{U,Rd}$ ) tiene conto anche della sovrarresistenza ( $s$ ) delle sezioni delle travi.

# CRITERI DI PROGETTO E DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE/5

- Ad esempio, il critério di gerarchia delle resistenze tra travi e colonne si applica nel modo seguente:

limite inferiore della resistenza delle colonne ( $M_{pl,Rd}$ )



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



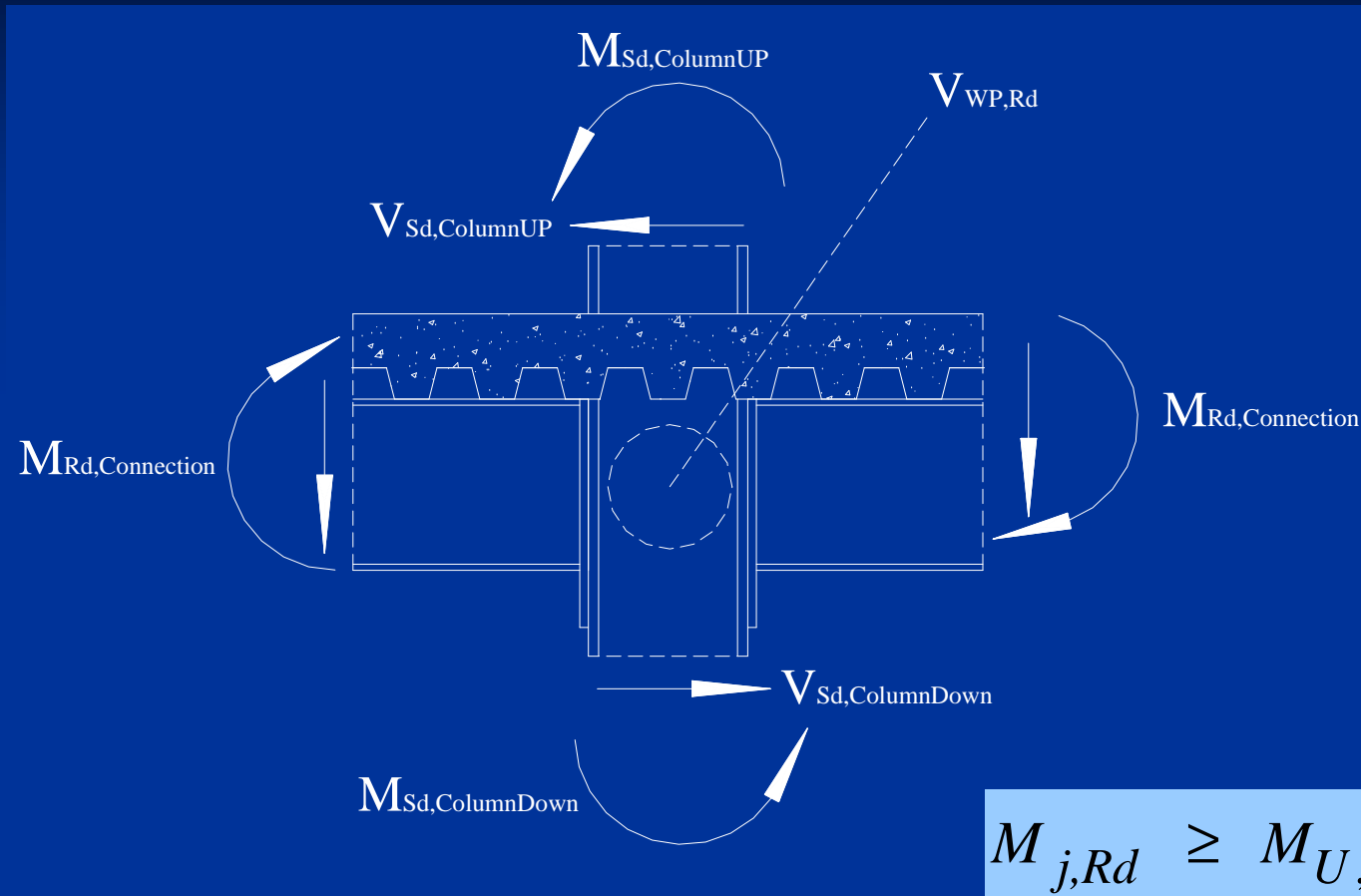
limite superiore della resistenza delle travi ( $M_{U,Rd}$ )

# DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

## 7.6.4.3 I collegamenti composti nelle zone dissipative

- Limitazione della localizzazione delle deformazioni plastiche.
- Integrità dei componenti in calcestruzzo soggetto a compressione durante l'evento sismico.
- I fenomeni di plasticizzazione devono aver luogo esclusivamente nei componenti in acciaio strutturale.
- Lo snervamento delle barre di armatura della soletta può essere ammesso solamente quando le travi composte soddisfano le prescrizioni di cui al punto 7.6.5.1 circa la profondità dell'asse neutro adimensionalizzato a rottura (tab. 7.6.II).
- Per il progetto dei bulloni e delle saldature si applica quanto prescritto per le strutture di acciaio.
- Nelle zone di intersezione tra trave e colonna vanno disposte apposite armature metalliche nella soletta di calcestruzzo per governare effetti locali di diffusione delle tensioni.

# IL COLLEGAMENTO TRAVE-COLONNA

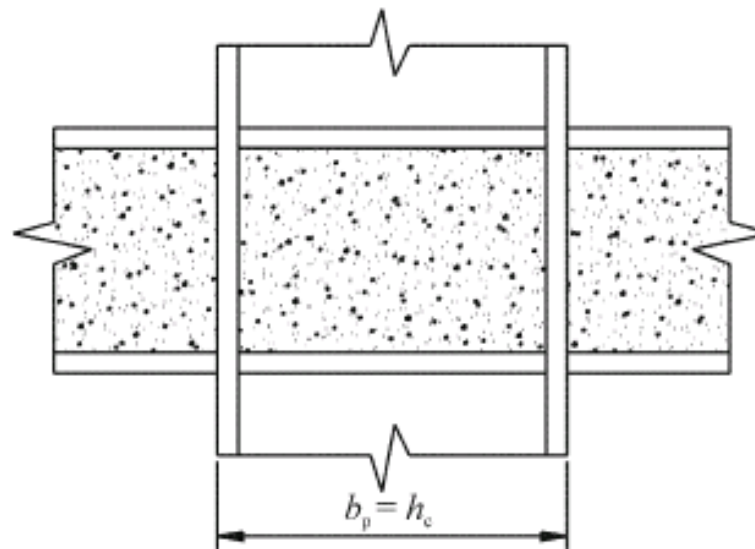
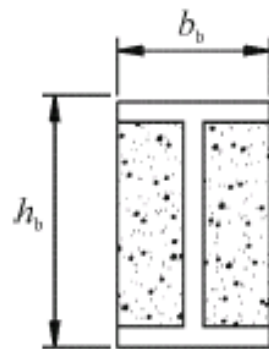
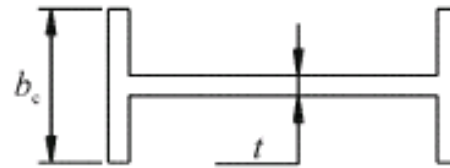


Lo sviluppo dei meccanismi dissipativi in corrispondenza dell'estremità delle travi richiede un'adeguata sovraresistenza della zona nodale.

# DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

Particolari costruttivi del **pannello d'anima in calcestruzzo** per strutture intelaiate con travi e/o colonne rivestite di calcestruzzo

Trave parzialmente rivestita di calcestruzzo e colonna in acciaio

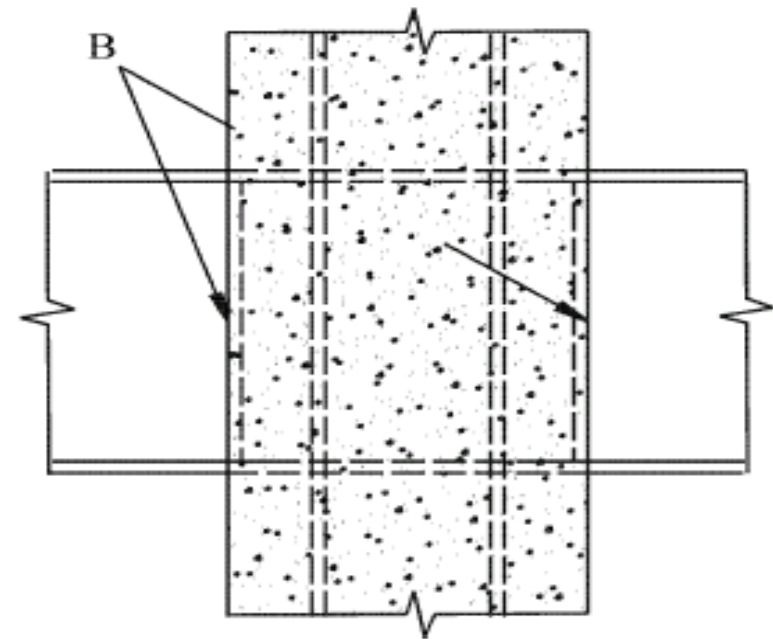
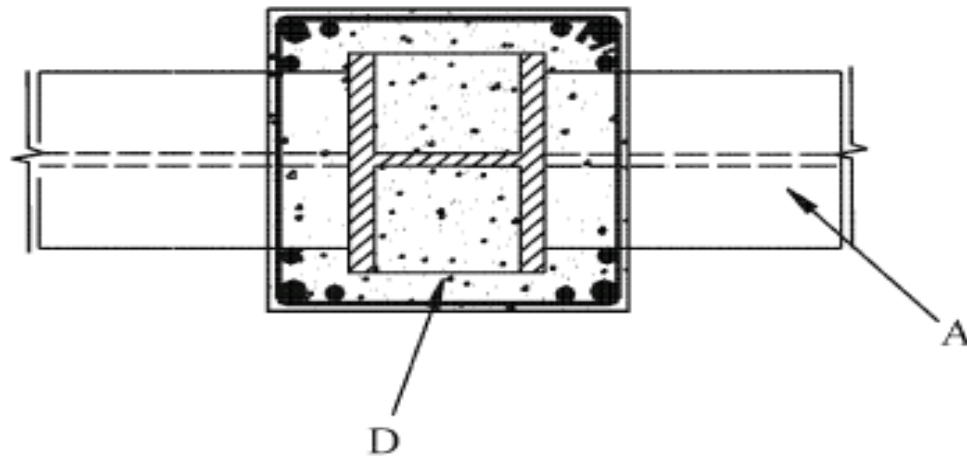


a)

# DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

Particolari costruttivi del **pannello d'anima in calcestruzzo** per strutture intelaiate con travi e/o colonne rivestite di calcestruzzo

Trave metallica e  
colonna  
completamente  
rivestita di  
calcestruzzo

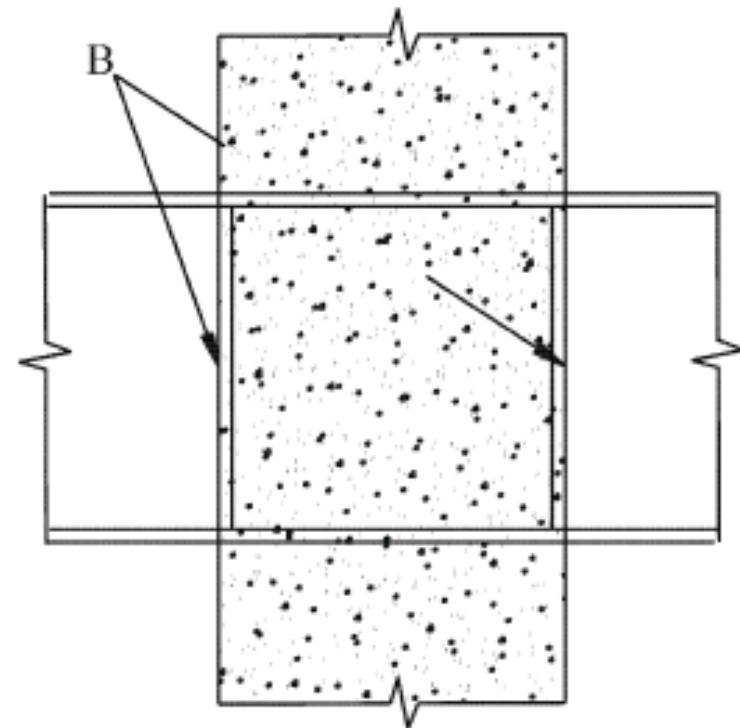
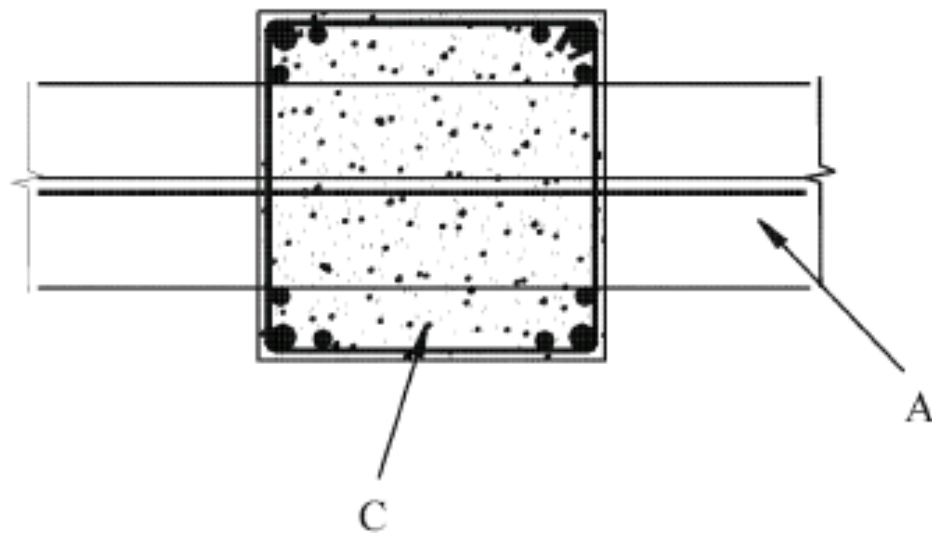


c)

# DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

Particolari costruttivi del **pannello d'anima in calcestruzzo** per strutture intelaiate con travi e/o colonne rivestite di calcestruzzo

Trave metallica e  
colonna in c.a.



b)

# DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

## I collegamenti composti nelle zone dissipative

- Nel caso di pannelli d'anima in nodi trave-colonna completamente rivestiti di calcestruzzo, si può assumere che la resistenza complessiva del pannello composto sia data dalla somma di due contributi offerti dal pannello in acciaio e da quello in calcestruzzo sottoposti a taglio, se le seguenti condizioni sono soddisfatte:

a) rapporto di forma del pannello d'anima:

$$0.6 \leq h_b/b_p \leq 1.4$$

b) limite di sollecitazione:

$$V_{wp,Sd} \leq 0.8 V_{wp,Rd}$$

dove:

- $h_b/b_p$  sono le dimensioni significative della trave e della colonna;

# DETTAGLI PER STRUTTURE DISSIPATIVE

- $V_{wp,Sd}$  è lo sforzo di taglio di progetto del pannello d'anima dovuto alle forze applicate e valutato tenendo conto delle resistenze plastiche delle adiacenti zone dissipative localizzate nella connessione o nella trave;
- $V_{wp,Rd}$  è la resistenza del pannello composto, che si può valutare sommando i due contributi dell'acciaio e del calcestruzzo:

$$V_{wp,Rd} = V_{wp,s,Rd} + V_{wp,c,Rd}$$

- Il **taglio plastico offerto dal pannello d'anima in acciaio** si valuta secondo le usuali procedure relative alle costruzioni in acciaio, mentre il contributo del calcestruzzo si può assumere pari a :

$$V_{wp,c,Rd} = v \cdot (0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c) \cdot A_c \cdot \sin \theta$$

essendo:

$$A_c = [0.8 \cdot (h_c - 2t_{fc}) \cdot \cos \theta] \cdot (b_c - t_{wc})$$

$t_{fc}$  e  $t_{wc}$  sono gli spessori della flangia della colonna

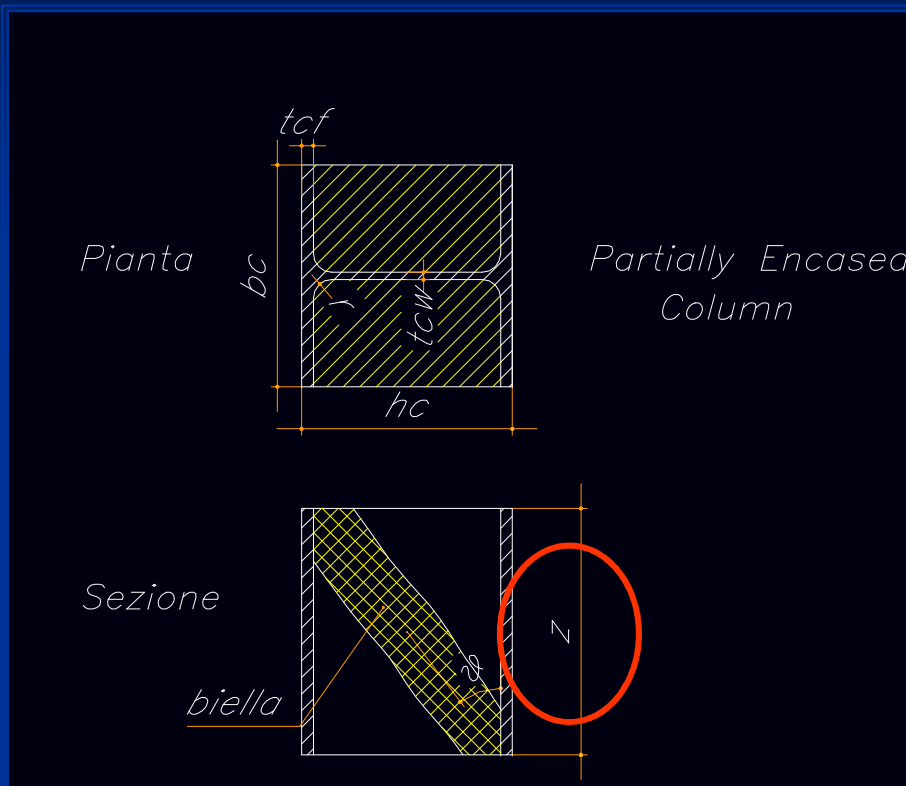
$$\theta = \arctan (h_c - 2t_{fc}) / z$$

$z$  è il braccio della coppia interna del collegamento

$$v = 0.55 \cdot [1 + 2 \cdot (N_{Sd} / N_{pl,Rd})] \leq 1.1$$

# PANNELLO D'ANIMA IN CALCESTRUZZO

## ➤ Biella di calcestruzzo:



$$A_c = [0.8(h_c - 2t_{cf}) \cos \vartheta] \cdot [b_c - t_{cw}]$$

$$\vartheta = \arctan [(h_c - 2t_{cf})/z];$$



$$V_{WP,C,RD} = v \cdot (0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c) \cdot A_c \cdot \sin \vartheta$$

$$v = 0.55 [1 + 2(N_{Sd} / N_{pl,Rd})] \leq 1.1$$

## ✓ Risposta dei nodi

Le componenti che concorrono alla resistenza e alla deformabilità dei nodi devono soddisfare i seguenti tre requisiti:

- le forze interne devono essere in equilibrio con le forze esterne applicate al giunto;
- le forze interne non devono mai superare la resistenza delle componenti;
- non deve essere superata la capacità di deformazione;

## 7.6.5 REGOLE PER LE MEMBRATURE

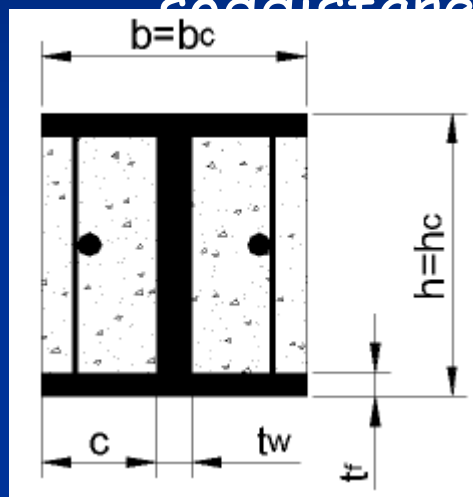
### Generalità

- L'organismo strutturale sotto azione sismica è progettato facendo riferimento a un **meccanismo globale plastico che interessa le zone dissipative**; tale meccanismo identifica le membrature nelle quali sono collocate le zone dissipative e indirettamente le zone della struttura non dissipative.

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/2

## Elementi compressi e presso-inflessi (colonne composte):

- Le zone dissipative collocate in colonne composte devono soddisfare i rapporti dimensionali riportati in tabella in funzione del fattore di struttura e del tipo di sezione. In presenza di specifici dettagli costruttivi è possibile fare riferimento a valori maggiori, come illustrato nel seguito.

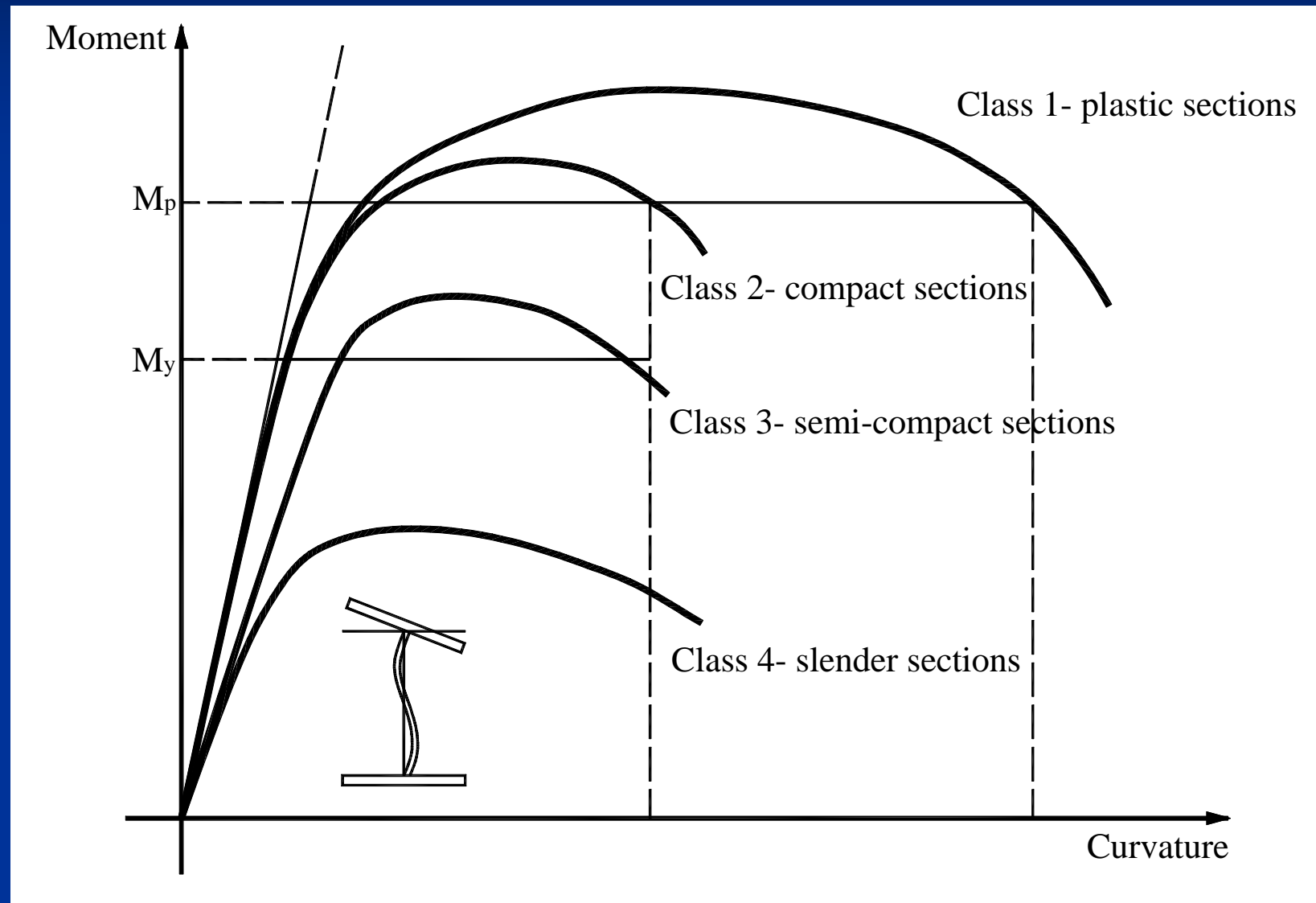


$$[\varepsilon = (f_y/235)^{0.5}]$$

CLASSE DI DUTTILITÀ		$q_0 > 4$	$1.5 \leq q_0 \leq 4$
Sezioni IPE o HE parzialmente rivestite		$9 \varepsilon$	$14 \varepsilon$
Sezioni IPE o HE completamente rivestite	$c/t_f \leq$		
Sezioni rettangolari riempite di cls:	$h/t \leq$	$24 \varepsilon$	$38 \varepsilon$
Sezioni circolari riempite di cls:	$d/t \leq$	$80 \varepsilon^2$	$85 \varepsilon^2$

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/3

## Classi di comportamento delle sezioni in acciaio:



# REGOLE PER LE MEMBRATURE/4

## Elementi compressi e presso-inflessi (colonne composte):

- Nel progetto di tutti i tipi di colonne composte si può tener conto della **resistenza della sola sezione in acciaio** o della **combinazione di quella in acciaio e di quella in calcestruzzo**.
- La minima tra le dimensioni  $b$ ,  $h$ , o  $d$  delle colonne completamente rivestite di calcestruzzo deve essere non inferiore a **250 mm**.
- Per gli elementi non dissipativi, la resistenza, inclusa quella a taglio, deve essere determinata facendo uso di metodologie di documentata affidabilità (NTC 2008 , Eurocodice 4)
- Nelle colonne, qualora si assuma che il calcestruzzo o altro riempimento contribuisca alla resistenza assiale e/o flessionale, si applicano le prescrizioni relative alle specifiche tipologie strutturali (completamente rivestite di calcestruzzo, parzialmente rivestite di calcestruzzo , riempite di calcestruzzo). Queste prescrizioni sono emanate per assicurare il **completo trasferimento degli sforzi tra componenti in acciaio e componenti in calcestruzzo della sezione trasversale** e salvaguardare le zone dissipative da premature rotture in campo anelastico.

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/5

## Elementi compressi e presso-inflessi (colonne composte):

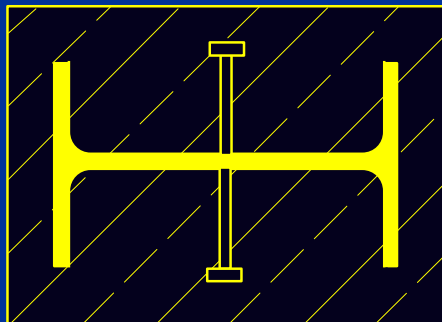
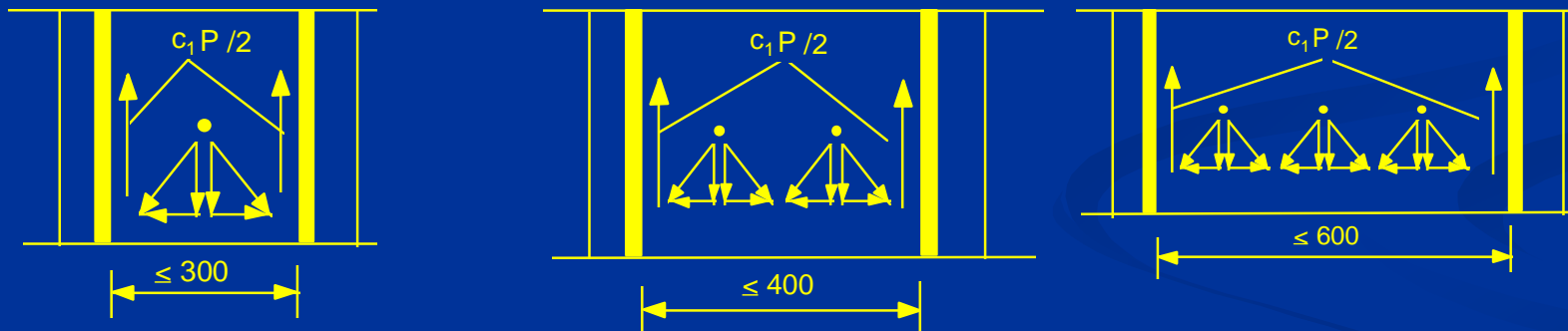
- Le **tensioni tangenziali resistenti all'interfaccia acciaio-calcestruzzo** connessi all'aderenza ed all'attrito da impiegare nelle verifiche per combinazione sismica, vanno ridotte al 50% di quelle assunte in campo statico.
- Quando è necessario sfruttare interamente la resistenza plastica di una colonna composta per soddisfare la gerarchia delle resistenze, si deve garantire la **completa interazione** tra la componente in acciaio e quella in calcestruzzo; in tutti i casi in cui è insufficiente il trasferimento degli sforzi tangenziali per aderenza ed attrito, è richiesto l'uso di connettori per il trasferimento mediante interazione meccanica e il ripristino della azione composta.
- Analogamente, nelle colonne composte soggette essenzialmente a compressione con modesti effetti flessionali si deve provvedere affinché si instauri una ripartizione degli sforzi tra acciaio e calcestruzzo, rivolgendo particolare attenzione ai **meccanismi di trasferimento delle azioni** in corrispondenza dei collegamenti tra trave e colonna e dispositivi di controvento.
- Le colonne non devono essere progettate per dissipare energia con esclusione delle zone al piede della struttura in presenza di specifiche soluzioni strutturali. Nondimeno, per compensare le incertezze connesse all'effettiva risposta dell'organismo strutturale alle azioni sismiche, è necessario predisporre armatura trasversale per il confinamento delle regioni critiche.

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/6

Tensione tangenziale di progetto dovuta all'aderenza ed all'attrito fino ai seguenti limiti:

- per sezioni completamente rivestite 0,6 MPa
- per sezioni riempite di calcestruzzo 0,4 MPa
- ali delle sezioni parzialmente rivestite 0,2 MPa
- anima delle sezioni parzialmente rivestite zero

DA DIMEZZARE PER LE VERIFICHE SISMICHE



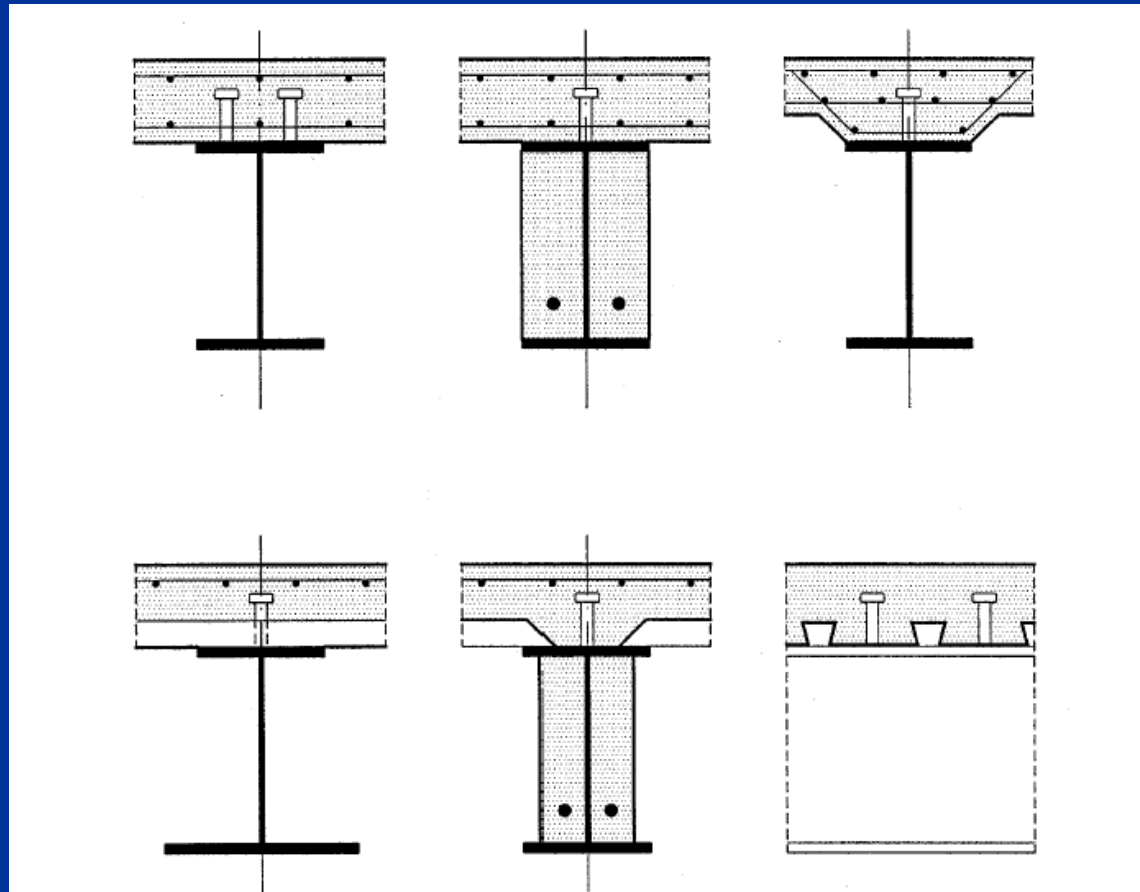
## Installazione di connettori

Coefficiente  $c_1$  ridotto del 50%  
o cautelativamente azzerato  
(sforzo interamente portato dai connettori)

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/7

## Travi composte acciaio-calcestruzzo

- L'obiettivo della progettazione è quello di preservare l'integrità del calcestruzzo della soletta durante l'evento sismico ed innescare la **plasticizzazione delle componenti in acciaio** (strutturale ed armatura).



# REGOLE PER LE MEMBRATURE/8

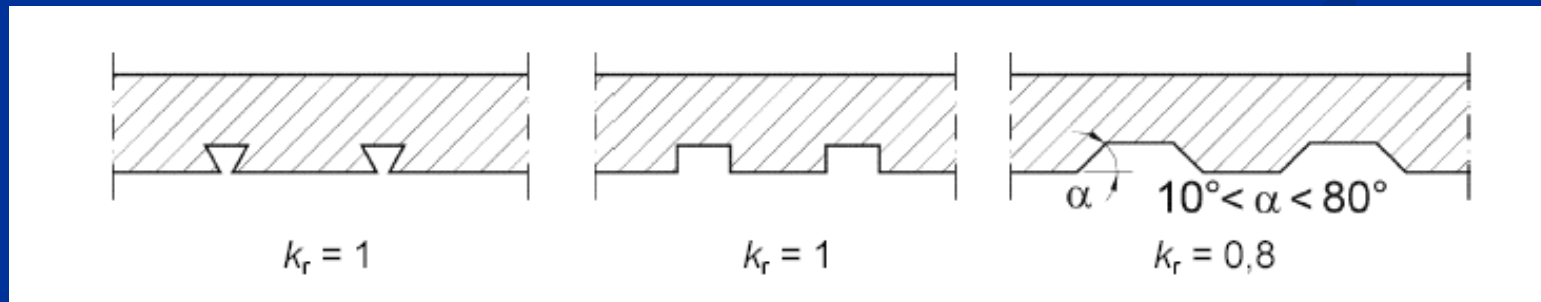
## Travi composte acciaio-calcestruzzo

- L'opzione progettuale di non sfruttare il carattere composto delle membrature nei meccanismi di dissipazione può essere presa in considerazione solamente nel caso in cui ci sia **manca** di connettori nell'intorno del nodo.
- Le travi nelle quali si intende localizzare le zone dissipative possono essere progettate sia a **completo ripristino**, che a **parziale ripristino di resistenza**. Il **rapporto di connessione  $N/N_f$**  nominale, tra il numero dei connettori installati ( $N$ ) e quello strettamente necessario a garantire il completo ripristino di resistenza ( $N_f$ ) **non deve essere inferiore a 0.8**.
- Il ricorso al parziale ripristino di resistenza è ammesso nelle sole zone di momento positivo (soletta soggetta prevalentemente a compressione); **nelle zone di momento negativo (soletta essenzialmente tesa) il grado di connessione deve essere maggiore o al più uguale ad 1**.

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/9

## Travi composte acciaio-calcestruzzo

- La **resistenza di progetto dei connettori a piolo** nelle zone dissipative va assunta pari al **75%** del valore suggerito nelle norme per organismi strutturali non sismo-resistenti.
- L'impiego di **connettori non duttili** è incompatibile con il parziale ripristino di resistenza tanto per le membrature dissipative che per quelle non dissipative.
- **E' possibile impiegare solette composte acciaio-calcestruzzo nella realizzazione degli orizzontamenti**; tale scelta influenza la resistenza di progetto dei connettori a taglio; in particolare, la resistenza di progetto dei connettori in soletta piena va ridotta attraverso due coefficienti,  $k_t$  e  $k_r$ , dedotti dalle NTC 2008.



# REGOLE PER LE MEMBRATURE/10

## Travi composte acciaio-calcestruzzo

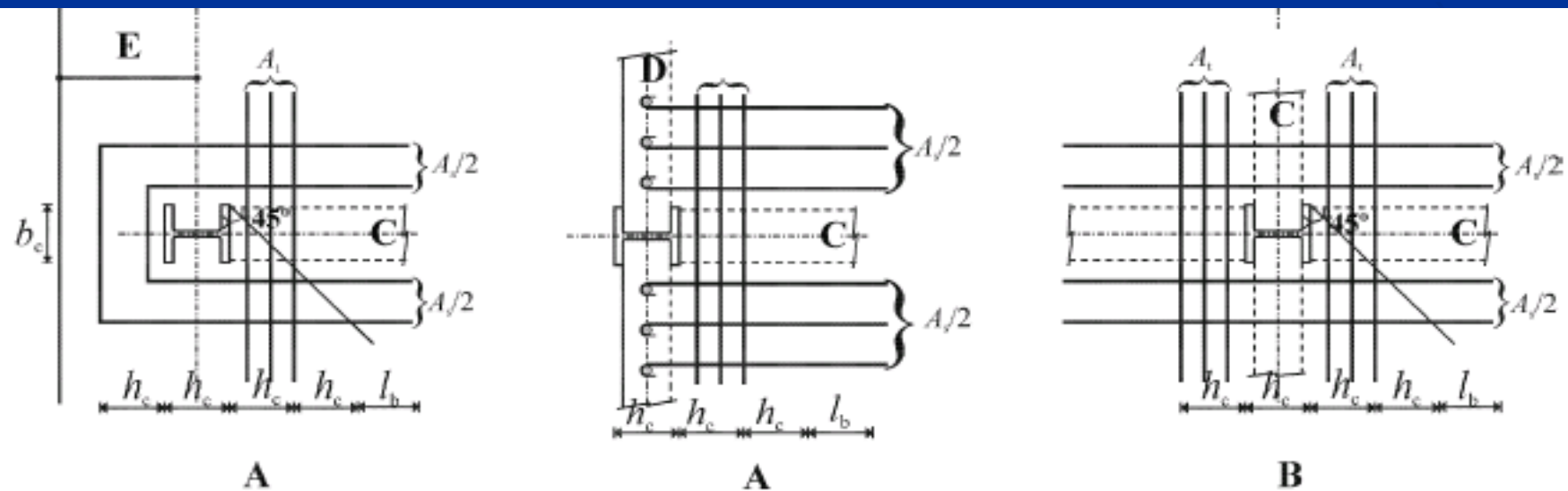
- Lo sviluppo di una adeguata capacità rotazionale nelle zone di dissipazione a momento positivo va garantito attraverso il controllo della profondità dell'asse neutro a rottura,  $x$ , dato dal rapporto  $x/d < \varepsilon_{cu}/(\varepsilon_{cu} + \varepsilon_a)$ .
- I massimi valori del rapporto  $x/d$  di progetto sono funzione della classe di duttilità della struttura e della tensione di snervamento dell'acciaio strutturale.

Classe di duttilità	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$x/d$
$q_0 > 4$	355	0.20
"	275	0.24
"	235	0.27
$1.5 \leq q_0 \leq 4$	355	0.27
"	275	0.32
"	235	0.36

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/11

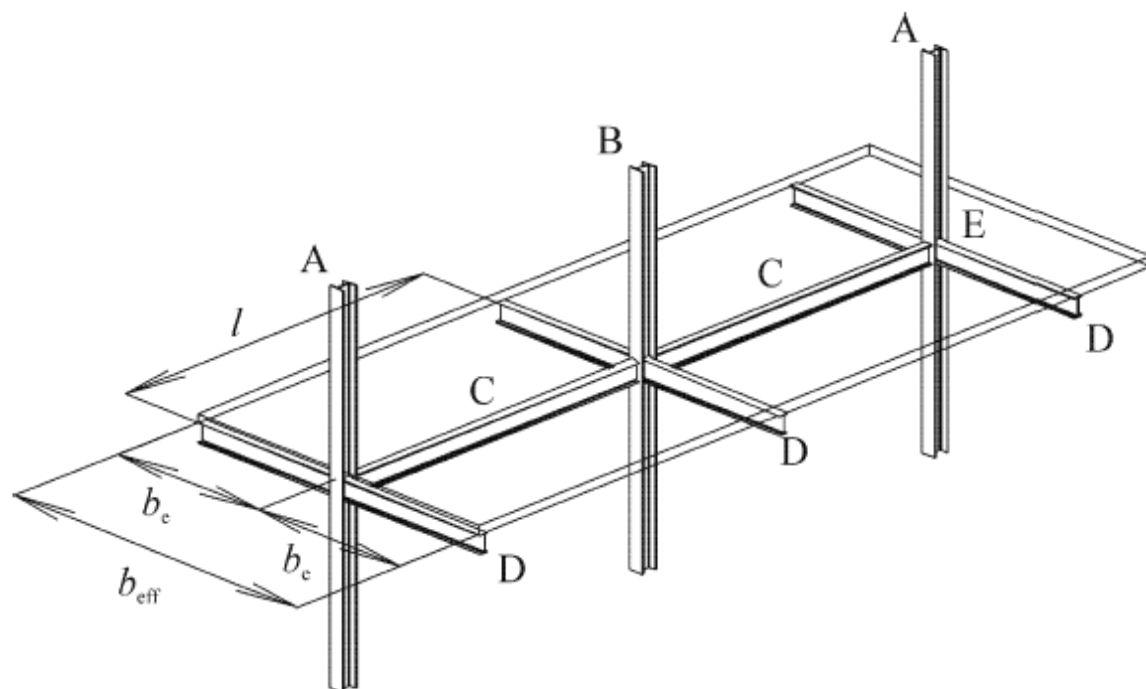
## Travi composte acciaio-calcestruzzo

Nelle **zone dissipative** delle travi, è richiesta l'installazione di apposita **armatura ad elevata duttilità**.



(Legend: A = Exterior Node; B = Interior Node; C = Steel beam; D = Façade steel beam; E = Reinforced concrete cantilever edge strip)

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/13



Larghezza efficace per il calcolo della rigidità flessionale da utilizzare nell'analisi strutturale

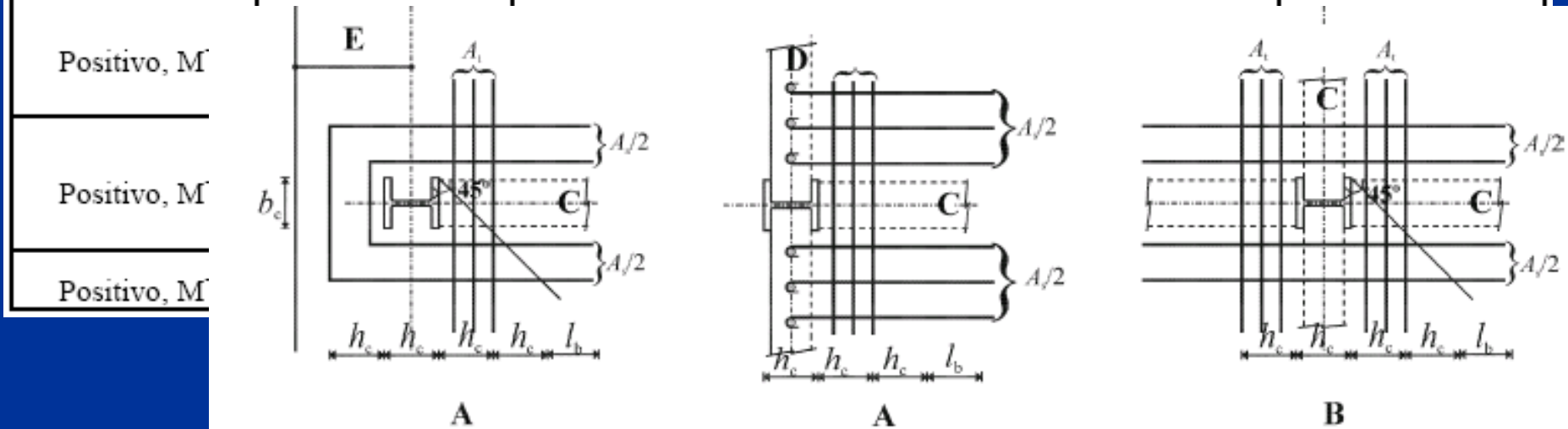
Tabella 7.6.III - Definizione della larghezza efficace parziale per il calcolo della rigidità flessionale..

	Membratura trasversale	Larghezza efficace parziale $b_{ei}$
Nodo/Colonna interni	Presente o non presente	Per $M^-$ : 0,05 L
Nodo/Colonna esterni	Presente	Per $M^+$ : 0,0375 L
Nodo/Colonna esterni	Non presente/Armatura non ancorata	Per $M^-$ : 0 Per $M^+$ : 0,025 L

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/14

Tabella 7.6.IV - Definizione della larghezza efficace parziale per il calcolo del momento plastico.

Segno del momento flettente	Posizione	Membratura trasversale	Larghezza efficace parziale $b_{ei}$
Negativo, $M^-$	Colonna interna	Armatura sismica incrociata	$0,10 L$
Negativo, $M^-$	Colonna esterna	Armature ancorate alle travi di facciata o al cordolo di estremità	$0,10 L$
Negativo, $M^-$	Colonna esterna	Armature non ancorate alle travi di facciata o al cordolo di estremità	0
Positivo, $M^+$	Colonna interna	Armatura sismica incrociata	$0,075 L$



(Legend: A = Exterior Node; B = Interior Node; C = Steel beam; D = Façade steel beam; E = Reinforced concrete cantilever edge strip)

Largh

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/15

## Colonne composte completamente rivestite di cls

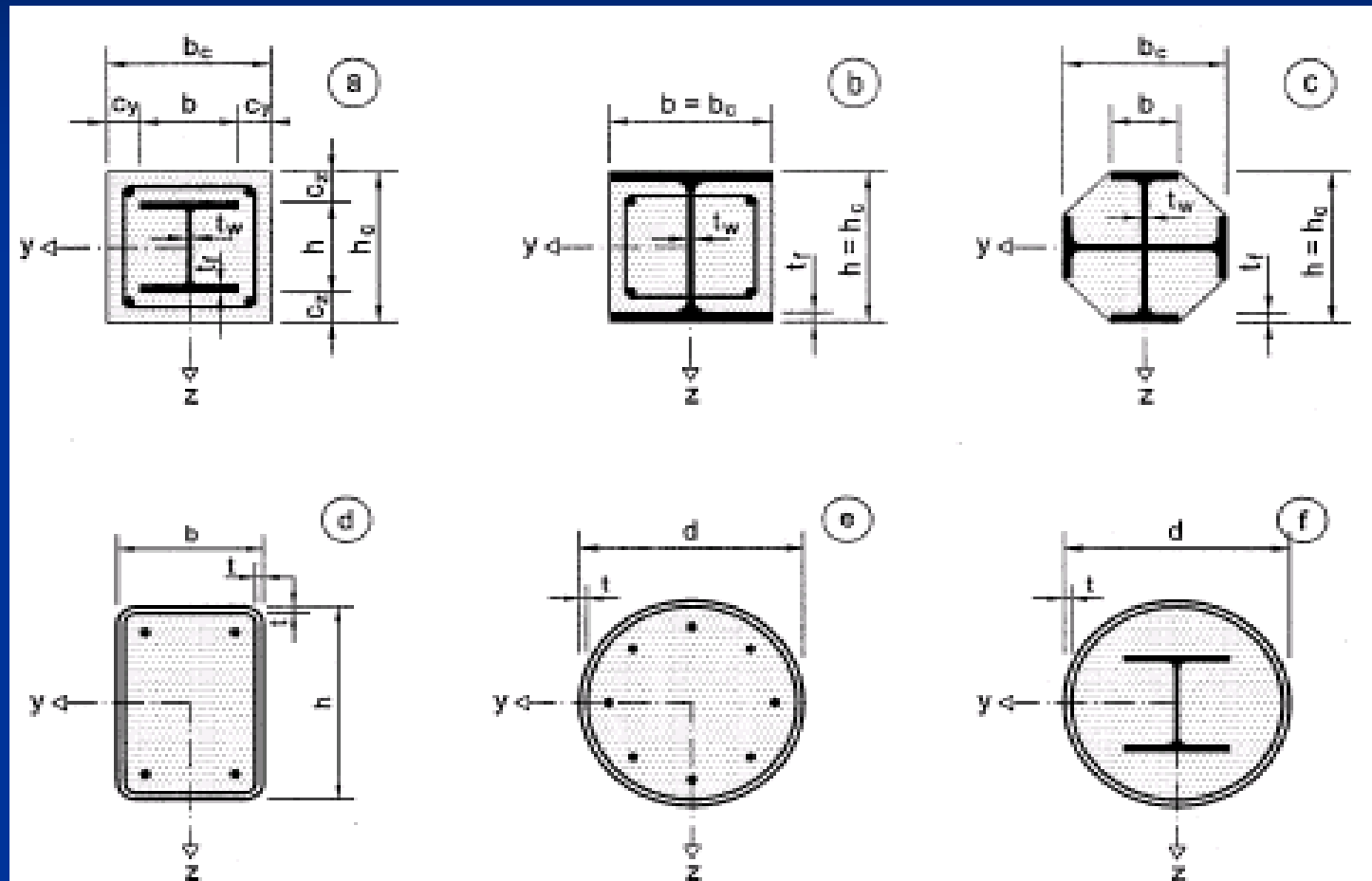


Figure 6.17 - Typical cross-sections of composite columns and notation

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/16

## Colonne composte completamente rivestite di cls

- La estremità delle colonne composte che fanno parte di strutture intelaiate e i tratti di colonna adiacenti ai link delle strutture con controventi eccentrici vengono definite "**regioni critiche**" dell'elemento. A queste si applicano le prescrizioni relative alle armature trasversali dei pilastri in c.a.. Nelle colonne poste in corrispondenza dei primi due livelli fuori terra, la lunghezza delle regioni critiche va incrementata del 50%.
- La **presenza di armatura trasversale** nelle regioni dissipative interviene sui fenomeni di instabilità locale del profilo metallico; di conseguenza si possono modificare i valori limite della snellezza delle flange dei profilati metallici. I valori di snellezza limite riportati in tabella 7.6.1 possono essere incrementati se sono installate armature trasversali con passo adeguato  $s$  inferiore alla larghezza  $c$  della flangia ( **$s/c < 1$** ).
- In particolare, se il rapporto  $s/c$  è inferiore a 0.5, ( **$s/c < 0.5$** ), i limiti di snellezza di tabella 7.6.1 possono essere incrementati fino al **50%**; se il rapporto  $s/c$  è compreso tra 0.5 e 1, l'incremento si può valutare per interpolazione lineare.
- Il diametro  $d_{bw}$  delle barre deve essere non inferiore a 6 mm e maggiore di  **$[(bt_f/8) \cdot (f_{ydf}/f_{ydw})]^{0.5}$**  in cui  $b$  e  $t_f$  sono la larghezza e lo spessore della flangia,  $f_{ydf}$  e  $f_{ydw}$  sono le tensioni di progetto della flangia e dell'armatura.

# Colonne composte completamente rivestite di cls

## - Prescrizioni per le "regioni critiche" -

- **Regioni critiche**
  - Estremità delle colonne;
  - Tratti adiacenti ai link nelle strutture con controventi eccentrici
  - Estensione:
    - Lato maggiore della sezione trasversale
    - Un sesto dell'altezza netta della colonna
    - 45 cm
- **Armatura trasversale disposta in base a 5.5.3.3 (c.a.)**
  - Le barre di spigolo devono essere contenute da staffe
  - Almeno una ogni due barre longitudinali devono essere tenute da staffe o legature
  - Le barre fissate sono collocate a meno di 15 cm da un barra non fissata
  - Il diametro delle barre e dei ferri di legatura non deve essere inferiore a 8 mm
  - Il passo deve essere pari alla più piccola delle seguenti quantità:
    - Un quarto della dimensione minima della sezione trasversale
    - 15 cm
    - 6 volte il diametro delle barre longitudinali
- Nelle colonne nei primi due livelli fuori terra la regione critica va aumentata del 50%

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/17

## 7.6.5 Colonne composte parzialmente rivestite di cls

- Nelle zone di dissipazione di energia, l'**interasse delle armature trasversali**,  $s$ , deve rispettare le limitazioni riportate in precedenza per le colonne completamente rivestite, su una lunghezza non inferiore a  $l_{cr}$  alle estremità dell'elemento
- I **profilati metallici** devono soddisfare i limiti di snellezza di cui alla tabella 7.6.1.

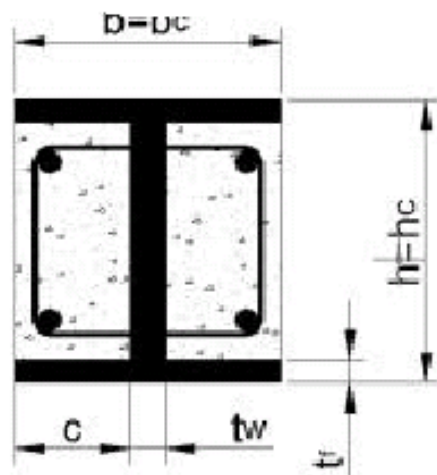
$$[\varepsilon = (f_y/235)^{0.5}]$$

CLASSE DI DUTTILITÀ	$q_0 > 4$	$1.5 \leq q_0 \leq 4$
Sezioni IPE o HE parzialmente rivestite	$9 \varepsilon$	$14 \varepsilon$
Sezioni IPE o HE completamente rivestite $c/t_f \leq$		
Sezioni rettangolari riempite di cls: $h/t \leq$	$24 \varepsilon$	$38 \varepsilon$
Sezioni circolari riempite di cls: $d/t \leq$	$80 \varepsilon^2$	$85 \varepsilon^2$

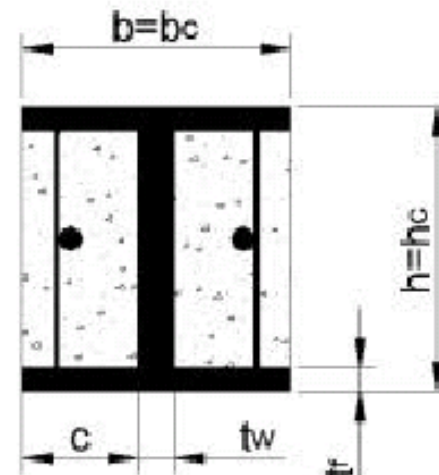
# REGOLE PER LE MEMBRATURE/18

## Colonne composte parzialmente rivestite di cls

- L'adozione di **specifici dettagli d'armatura trasversale (fig. b)**, può ritardare l'innescò di fenomeni di instabilità locale nelle zone dissipative. I limiti riportati in tab. 7.6.1 per le flange possono essere incrementati se tali barre sono caratterizzate da un interasse longitudinale  $s_l$  minore della lunghezza netta  $c$  della flangia,  $s_l/c < 1$ :
  - $s_l/c < 0.5$ : i limiti di tab. possono essere aumentati fino al 50%;
  - $0.5 < s_l/c < 1$ : si può interpolare linearmente tra i valori 1.5 ed 1.0 .



a) Staffe saldate all'anima



b) Barre dritte saldate alle flange

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/19

## Colonne composte parzialmente rivestite di cls

- Le barre dritte indicate in fig. b devono inoltre soddisfare le seguenti condizioni:
  - Il diametro  $d_{bw}$  delle barre deve essere non inferiore a 6 mm e maggiore di  $[(bt_f/8) \cdot (f_{ydf}/f_{ydw})]^{0.5}$  in cui  $b$  e  $t_f$  sono la larghezza e lo spessore della flangia,  $f_{ydf}$  e  $f_{ydw}$  sono le tensioni di progetto della flangia e dell'armatura.
  - Devono essere saldate alle flange ad entrambe le estremità e la saldatura deve essere dimensionata per sopportare uno sforzo di trazione nella barra pari a quello di snervamento.

# REGOLE PER LE MEMBRATURE/20

## Colonne composte riempite di cls

- I profilati metallici devono rispettare i limiti dei rapporti ( $h/t$ ) per sezioni circolari e ( $d/t$ ) per quelle rettangolari riportati in tab. 7.6.1 .
- La resistenza a taglio nelle zone dissipative può essere valutata facendo riferimento alla sola sezione di acciaio o sulla base di quella in c.a.. In quest'ultimo caso il rivestimento in acciaio può essere utilizzato come armatura a taglio.
- Negli elementi non dissipativi, la resistenza a taglio della colonna va determinata facendo riferimento a quanto suggerito nelle NTC 2008.

## 7.6.6 REGOLE SPECIFICHE PER STRUTTURE INTELAIATE

- Al fine di conseguire un comportamento duttile, i telai devono essere progettati in maniera tale che le **cerniere plastiche si formino nelle travi piuttosto che nelle colonne** ⇒ **GERARCHIA DELLE RESISTENZE**.
- Questo requisito non è richiesto con riferimento alle sezioni di base del telaio, alle sezioni di sommità delle colonne dell'ultimo piano degli edifici multipiano e nel caso di edifici monopiano.
- Alle **travi composte** si deve conferire un **adeguato livello di duttilità**, in modo da poter garantire l'integrità delle componenti in calcestruzzo sotto azioni sismiche.
- I **collegamenti trave-colonna** devono possedere un'adeguata **sovraresistenza** e quindi consentire l'innescio di fenomeni di plasticizzazione all'estremità delle travi.<sup>76</sup>

# REGOLE PER STRUTTURE INTELAIATE/2

## 7.6.6.1 Analisi strutturale

- Rigidezze flessionali dedotte sulla base del principio dell'omogeneizzazione dei materiali.
- Nelle **travi composte**, l'analisi strutturale va condotta suddividendo le travi in due zone, fessurata (rigidezza flessionale,  $EI_2$ ) e non fessurata (rigidezza flessionale,  $EI_1$ ). In alternativa è possibile assumere un **momento di inerzia equivalente** costante lungo l'intera trave,  $I_{eq}$ , dato dalla relazione:

$$I_{eq} = 0.6 I_1 + 0.4 I_2$$

- La **rigidezza flessionale delle colonne composte** può essere assunta pari a:

$$(EI)_c = 0.9 \cdot (EI_a + r \cdot E_{cm} I_c + EI_s)$$

nella quale  $E$  ed  $E_{cm}$  sono i moduli di elasticità dell'acciaio e del calcestruzzo,  $I_a$ ,  $I_c$ ,  $I_s$  sono i momenti di inerzia della sezione in acciaio, del calcestruzzo e delle armature rispettivamente. Il coefficiente di riduzione  $r$  dipende in generale dal tipo di sezione trasversale (può essere assunto generalmente pari a 0.5).

# REGOLE PER STRUTTURE INTELAIATE/3

## Regole di dettaglio per travi e colonne

- Le **travi composte** devono possedere sufficiente resistenza nei confronti dell'**instabilità laterale o flessio-torsionale** nella ipotesi di formazione di una cerniera plastica ad una delle estremità a momento negativo (verifiche secondo la procedura riportata nelle NTC2008).
- Nelle travi in cui si assume lo sviluppo di cerniere plastiche, si deve verificare che la resistenza e la duttilità flessionali non vengano ridotte per l'**interazione con le forze di compressione e/o taglio** agenti sulla sezione. A tale scopo, si deve garantire la verifica delle seguenti disuguaglianze in corrispondenza delle sezioni in cui sono attese le cerniere plastiche:

- $M_{Sd}/M_{pl.Rd} \leq 1$

- $N_{Sd}/N_{pl.Rd} \leq 0.15$

- $V_{Sd}/V_{pl.Rd} \leq 0.5 \quad (V_{Sd} = V_{Sd,G} + V_{Sd,M})$

( $V_{Sd,M}$  è il taglio connesso alla applicazione dei due momenti plastici  $M_{Rd,A}$  e  $M_{Rd,B}$  con segni opposti alle estremità A e B della trave).

# REGOLE PER STRUTTURE INTELAIATE/4

- Ai fini della verifica delle **colonne composte**, è necessario prendere in considerazione la combinazione di sforzo normale e momenti flettenti  $M_x$  e  $M_y$  più sfavorevole.

Le sollecitazioni di progetto sono determinate come:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{Rd} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad (7.5.6)$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{Rd} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \quad (7.5.7)$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{Rd} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \quad (7.5.8)$$

in cui

$N_{Ed,G}, M_{Ed,G}, V_{Ed,G}$  sono le sollecitazioni di compressione, flessione e taglio dovute alle azioni non sismiche;

$N_{Ed,E}, M_{Ed,E}, V_{Ed,E}$  sono le sollecitazioni dovute alle azioni non sismiche;

$\gamma_{Rd}$  è il fattore di sovraresistenza;

$\Omega$  è il minimo valore tra gli  $\Omega_i = M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}$  di tutte le travi in cui si attende la formazione di cerniere plastiche, essendo  $M_{Ed,i}$  il momento flettente di progetto della  $i$ -esima trave in condizioni sismiche e  $M_{pl,Rd,i}$  il corrispondente momento plastico.

# REGOLE PER STRUTTURE INTELAIATE/4

- Il trasferimento degli sforzi dalle travi alle colonne deve rispettare i criteri validi per le strutture progettate per soli carichi verticali.
- Tutte le colonne composte devono essere progettate in modo da rispettare le seguenti disequaglianze:
  - $N_{Sd}/N_{pl.Rd} \leq 0.30$
  - $V_{Sd}/V_{pl.Rd} \leq 0.50$

# REGOLE PER STRUTTURE INTELAIATE/5

## Collegamenti trave-colonna

- I collegamenti trave-colonna devono essere progettati in modo da possedere **adeguata sovraresistenza** per consentire la formazione delle cerniere plastiche alla estremità delle travi:

$$M_{j,Rd} \geq M_{U,Rd,trave}$$

$M_{U,Rd,trave}$  è il limite superiore della resistenza delle travi nelle zone dissipative.

# REGOLE PER STRUTTURE INTELAIATE/6

## Regole specifiche per travi progettate senza considerare l'azione composta

- La resistenza plastica di una sezione composta può essere valutata in base alla sola sezione metallica, se la soletta è completamente sconnessa dal telaio metallico nell'intorno della colonna; a tale scopo si può considerare un'area circolare di diametro  $2 b_{eff}$ , essendo  $b_{eff}$  la maggiore delle larghezze efficaci delle travi collegate alla colonna considerata.
- Ciò comporta non solo la mancanza di connettori a taglio nella zona sopra definita, ma anche la presenza di franchi che consentano lo spostamento relativo tra la soletta e ogni parte metallica verticale.
- Nelle colonne parzialmente rivestite di calcestruzzo è necessario portare in conto il contributo del calcestruzzo presente tra le due flange della sezione metallica.

## 7.8 REGOLE SPECIFICHE PER STRUTTURE CON CONTROVENTI CONCENTRICI

- I telai composti con controventi concentrici devono essere progettati in modo da innescare la plasticizzazione nei soli controventi tesi prima della rottura delle connessioni e prima della plasticizzazione o instabilità delle colonne e delle travi.
- Le colonne e le travi possono essere sia in acciaio che composte acciaio-calcestruzzo, ma i controventi possono essere solo in acciaio strutturale.
- Di conseguenza si applicano le prescrizioni di cui al punto 6.5.5 (controventi di strutture in acciaio)

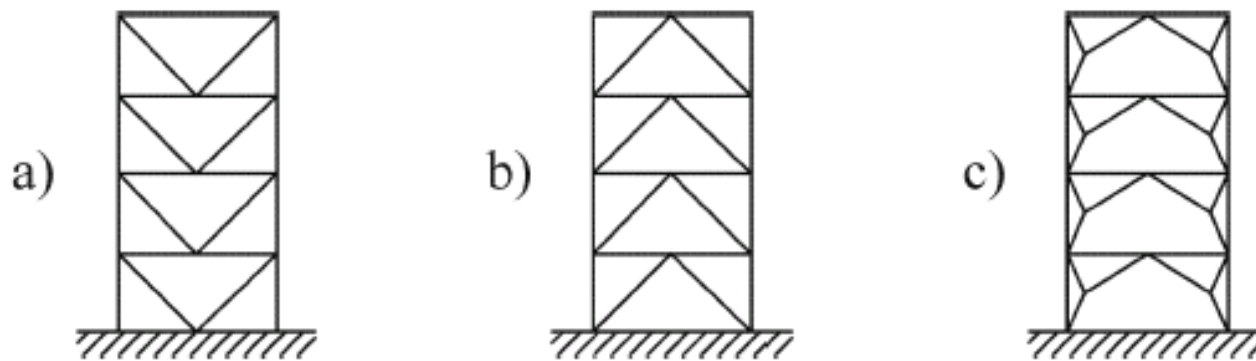


Figure 6.3: Frames with concentric V-bracings (dissipative zones in tension and compression diagonals).

## 7.9 REGOLE SPECIFICHE PER STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

- I telai composti con controventi eccentrici devono essere progettati in modo tale che la dissipazione di energia sia localizzata nei link e deve aver luogo per plasticizzazione a taglio degli stessi; tutte le altre membrature devono rimanere in campo elastico, così come deve essere evitata la rottura dei collegamenti.
- Le colonne, le travi e i controventi possono essere sia in acciaio che composti acciaio-calcestruzzo.

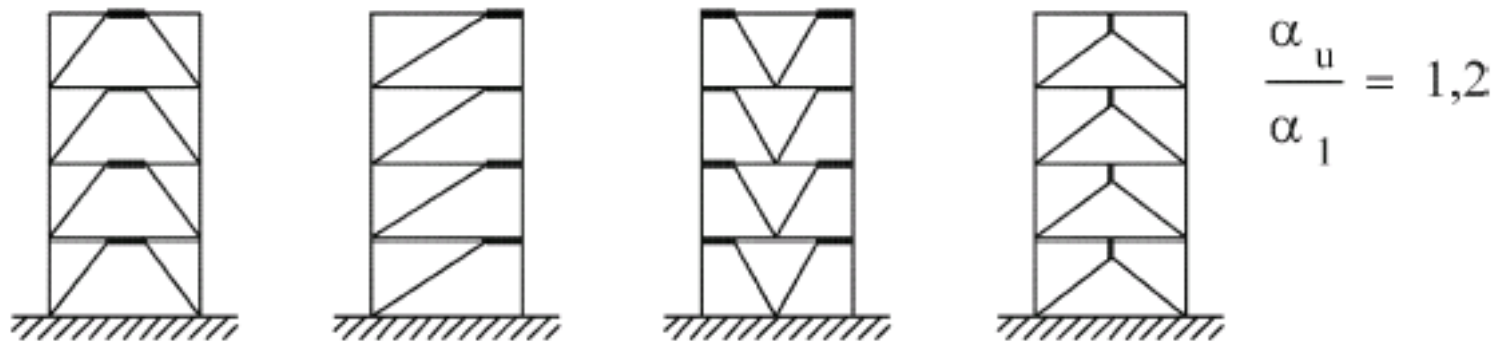


Figure 6.4: Frames with eccentric bracings (dissipative zones in bending or shear links). Default values for  $\alpha_u/\alpha_1$  (see 6.3.2(3) and Table 6.2).

## STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

- Tutte le parti delle membrature e dei controventi esterni ai link a taglio devono essere mantenuti in campo elastico sotto la massima azione che può essere generata dalla plasticizzazione e dall'incrudimento in campo ciclico del link.
- Per l'analisi strutturale si applicano le regole descritte in precedenza per la definizione delle rigidzze flessionali.

# STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

## I link nei telai composti

- Si applicano le definizioni riportate al punto 6.5.6.1 (strutture metalliche). I link possono essere realizzati in acciaio strutturale, laddove è possibile anche composti con soletta, ma non possono essere rivestiti di calcestruzzo. Nei telai composti è possibile impiegare solo link corti o intermedi.
- Ai fini della classificazione dei link e della relativa progettazione, il momento plastico del link  $M_{pl}$ , va computato con riferimento alla sola componente di acciaio strutturale, trascurando il contributo della soletta.
- Nel caso in cui i link siano collegati con colonne rivestite di calcestruzzo è necessario provvedere all'installazione di piastre metalliche nella sezione terminale del link a filo della colonna in corrispondenza delle due estremità del link stesso.

# STRUTTURE CON CONTROVENTI ECCENTRICI

## Membrature che non contengono link

- Le membrature che non contengono link devono soddisfare le prescrizioni di cui ai punti 6.5.6.5-6 (strutture metalliche) considerando la resistenza combinata dell'acciaio e del calcestruzzo nel caso di elementi composti, per i quali si applicano inoltre le prescrizioni di cui al punto 7.6 (Regole per le membrature) ed alla CNR 10016/98.
- Nel caso in cui il link è adiacente a una colonna composta completamente rivestita di calcestruzzo, è necessario predisporre un'armatura trasversale conforme al punto 7.6.4 sia al di sopra che al di sotto del link.
- I controventi composti soggetti a trazione vanno calcolati con riferimento alla sola sezione trasversale del componente in carpenteria metallica.