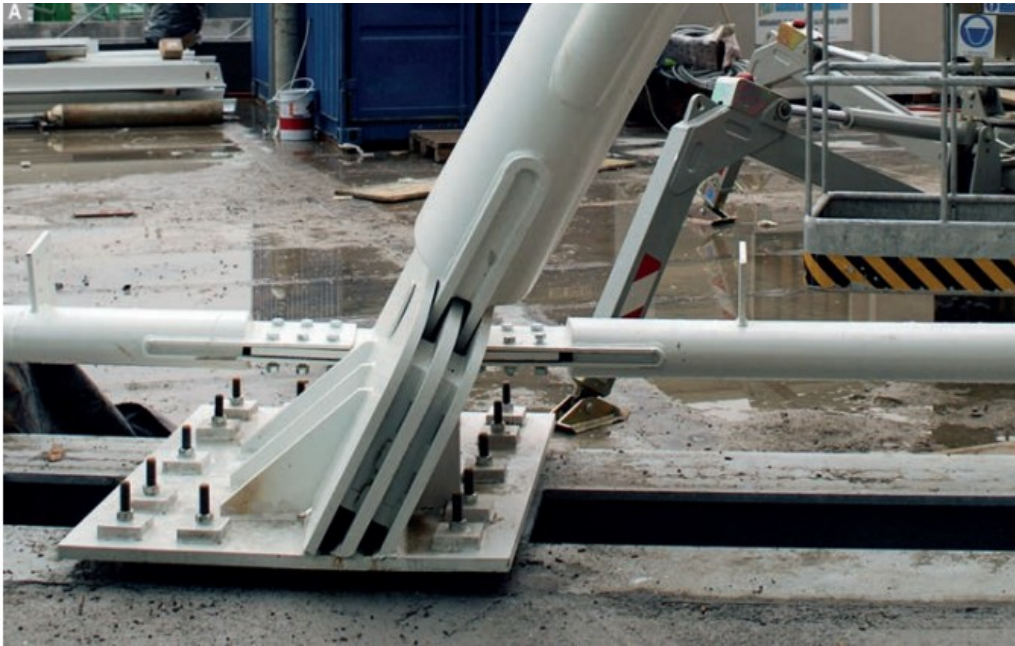




484MI – COSTRUZIONI IN ACCIAIO E VETRO

Giunti trave-colonna

Giunzioni (esempi)



Giunzioni (esempi)

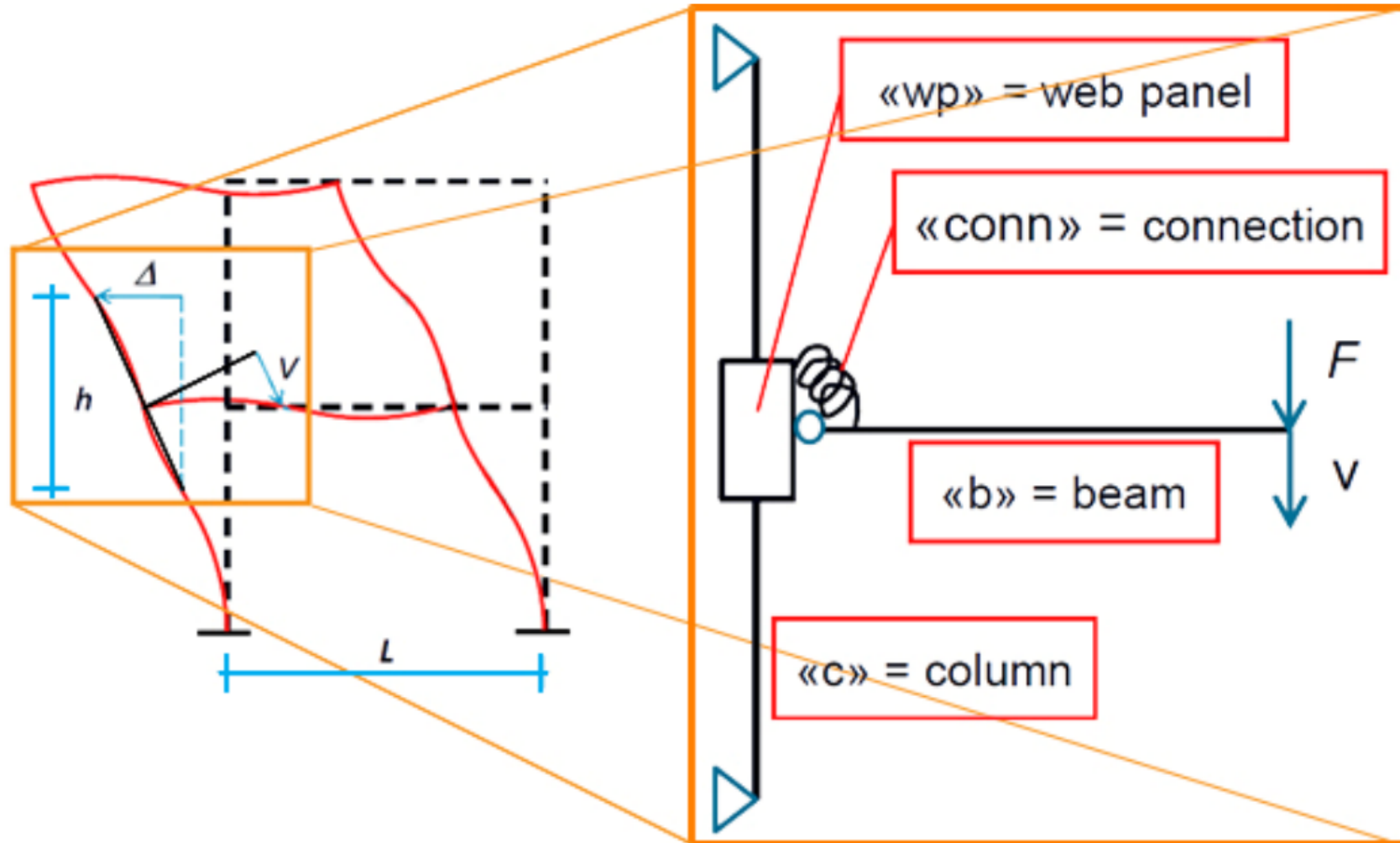


Fig.7 – Esempio di travatura reticolare con profili tubolari saldati

Giunzioni (esempi)



Giunzioni (esempi)



Giunzioni di telai in acciaio

- Hanno l'obiettivo di garantire il **collegamento** tra membrature monodimensionali
- L'interazione meccanica tra le **singole membrature** (anche tipologicamente diverse), e quindi il comportamento strutturale d'insieme, dipende dalle caratteristiche stabilite in fase di progetto
- Il giunto in sé comprende un insieme di elementi in acciaio (piatti, profilati), organi meccanici (bulloni, perni, ecc.), saldature
- Le giunzioni possono essere classificate in termini di:
 - **Tipologia** / soluzione tecnologica (bullonati, saldati, misti)
 - **Caratteristiche meccaniche** / comportamento strutturale, e in particolare:
 - ✓ **Rigidità** (rotazionale)
 - ✓ **Resistenza** (momento resistente)

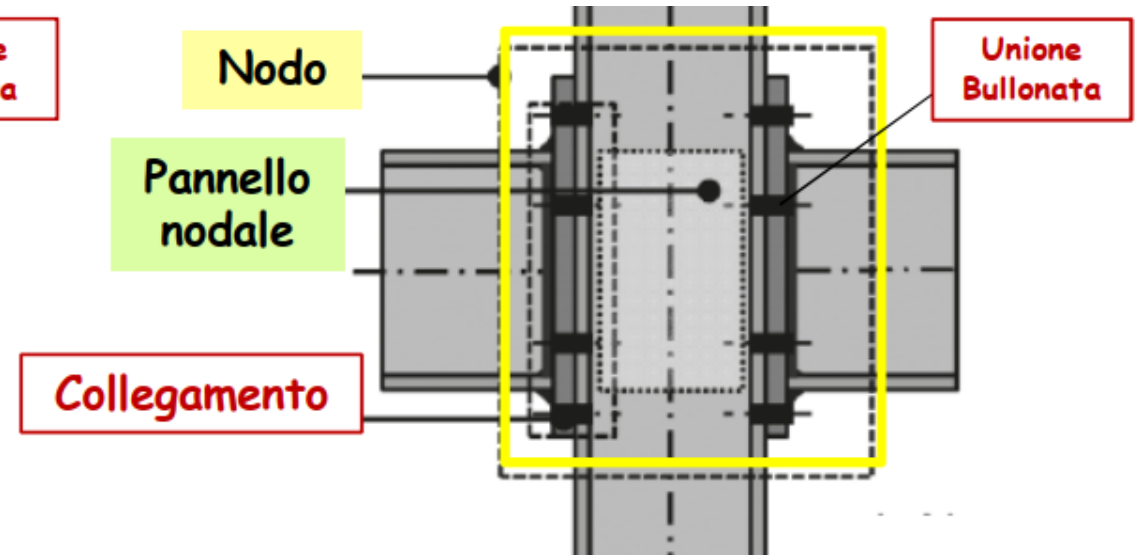
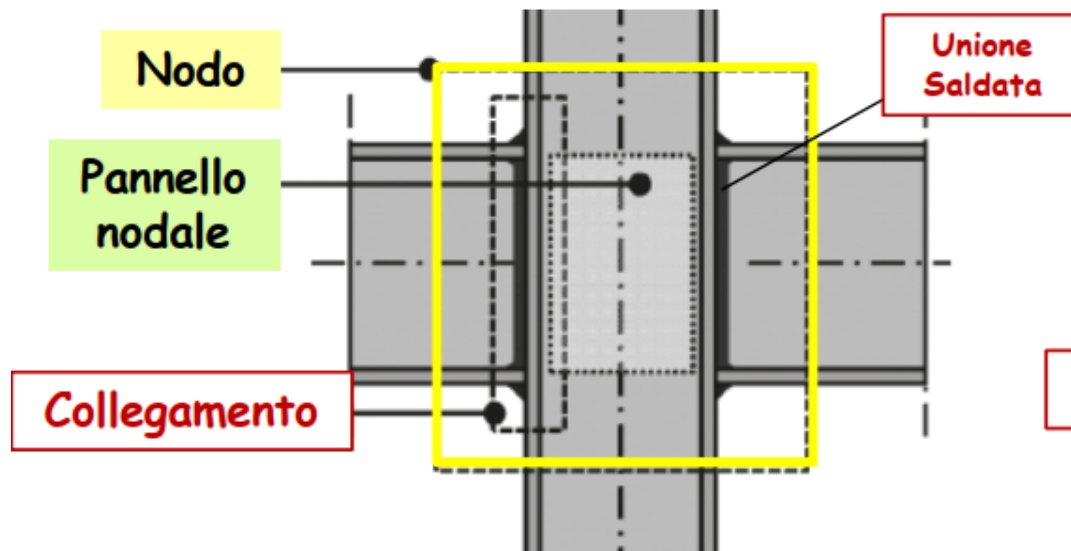
- Trave-colonna
- Trave-trave
- Colonna-colonna
- Di controvento
- Di fondazione

- DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC 2018)
- UNI EN 1993-1-8 (Eurocodice 3): Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.

Giunti trave-colonna

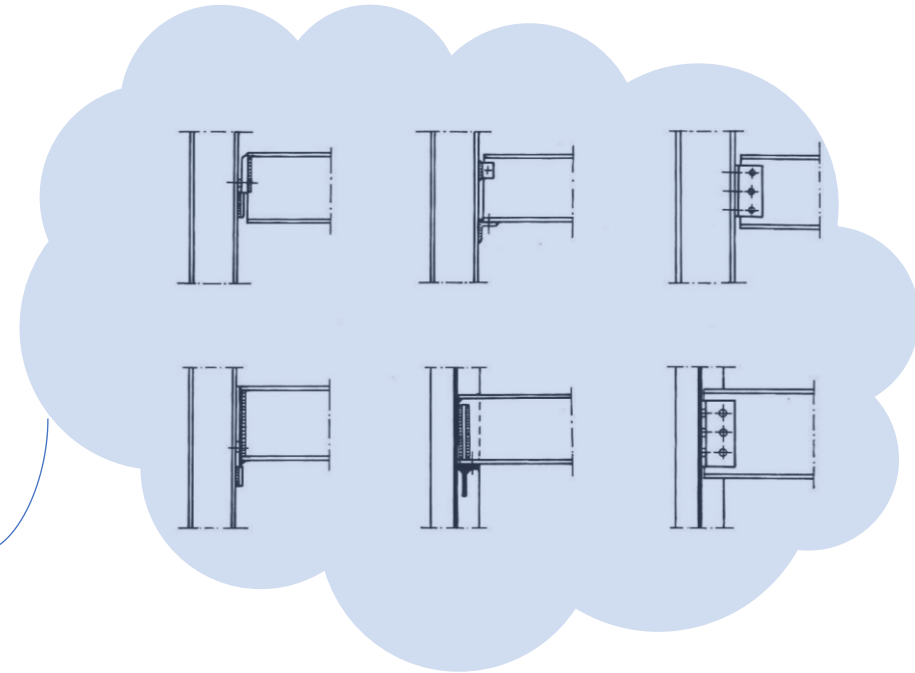
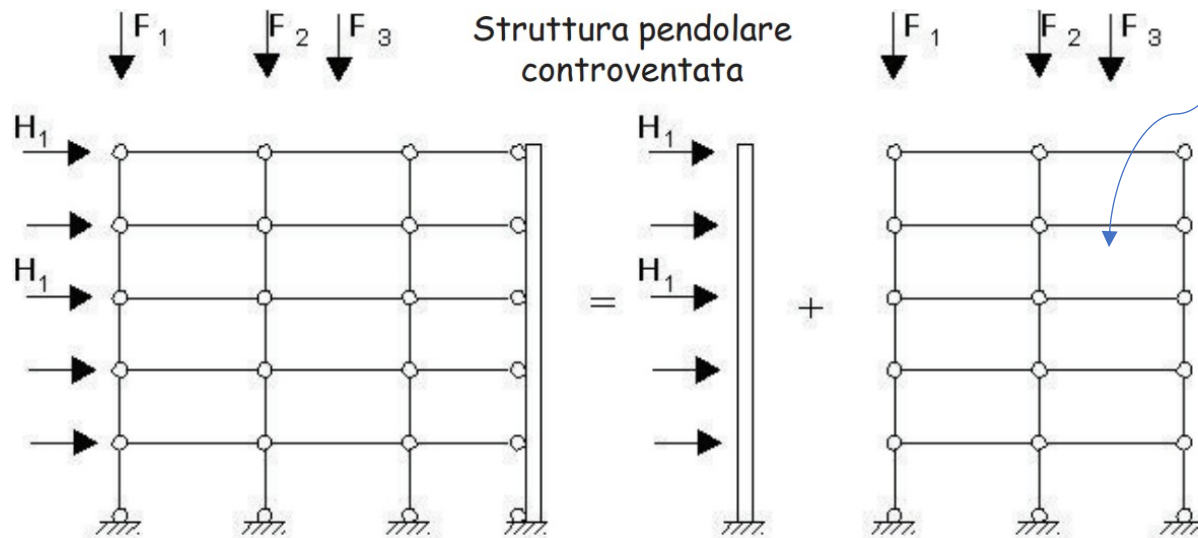
Si parla di:

- Nodi strutturali
- Collegamenti
- Unioni elementari



Giunti a cerniera per strutture controventate

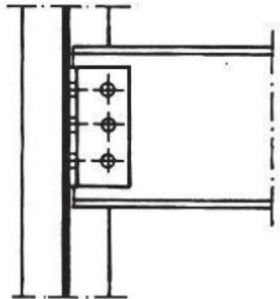
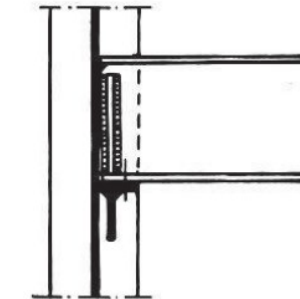
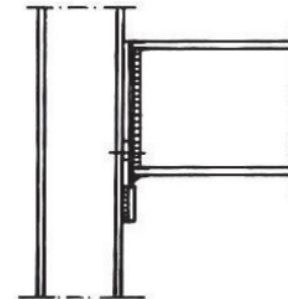
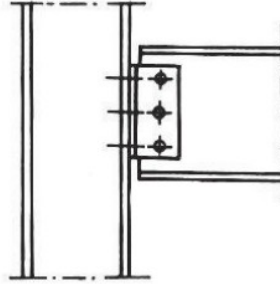
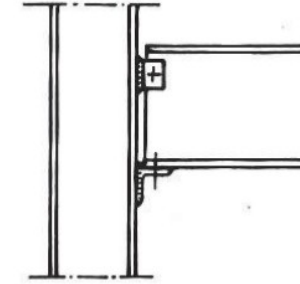
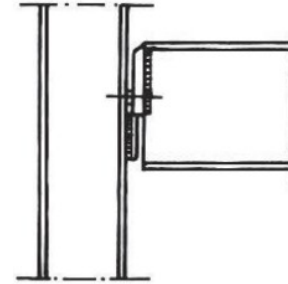
- La rigidezza della struttura a carichi orizzontali è controllata dal progetto dei **controventi**
- Le colonne subiscono un limitato effetto di interazione tra azioni verticali e orizzontali



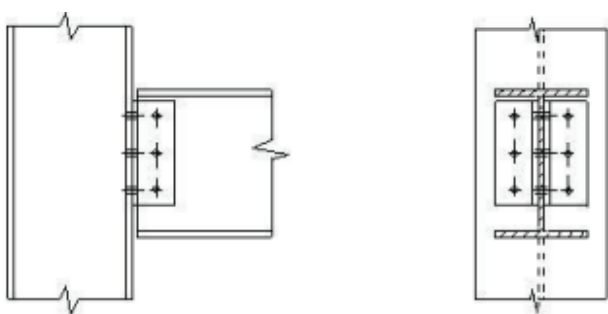
Esempio di telaio controventato con giunti a cerniera (controvento in c.a.)

Giunti a cerniera per strutture controventate

- Telai controventati (strutture pendolari) → **isostaticità**
- **Ripartizione** dei carichi tra varie componenti (trave, colonna, giunzioni)
- I collegamenti sono chiamati a riprendere solo **azione tagliante**
- Si tratta di collegamenti di **semplice realizzazione**
- Eventualmente semi-rigidi

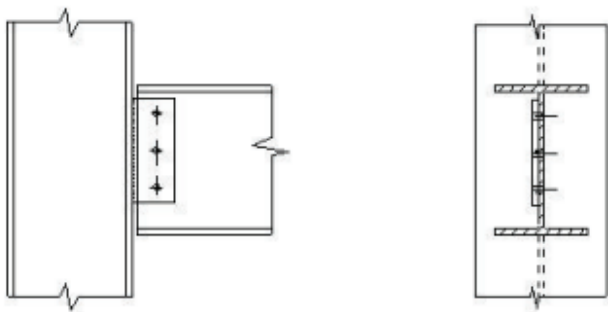


A)



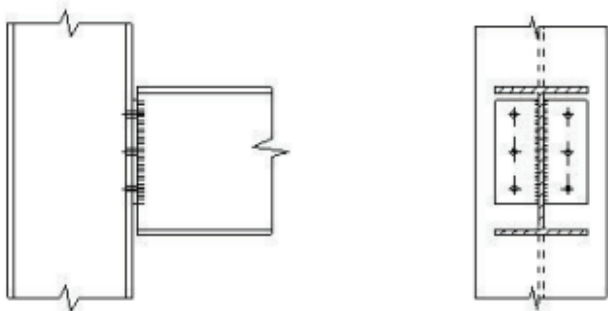
- giunto realizzato mediante angolari bullonati all'ala della colonna e all'anima della trave;

B)



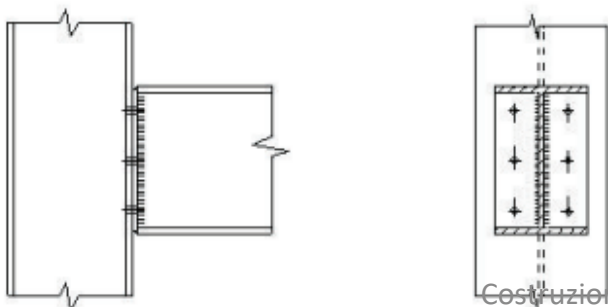
- giunto con piatto saldato in aggetto alla colonna e bullonato all'anima della trave;

C)



- giunto con piastra saldata a parte di anima all'estremità della trave e bullonata alla colonna;

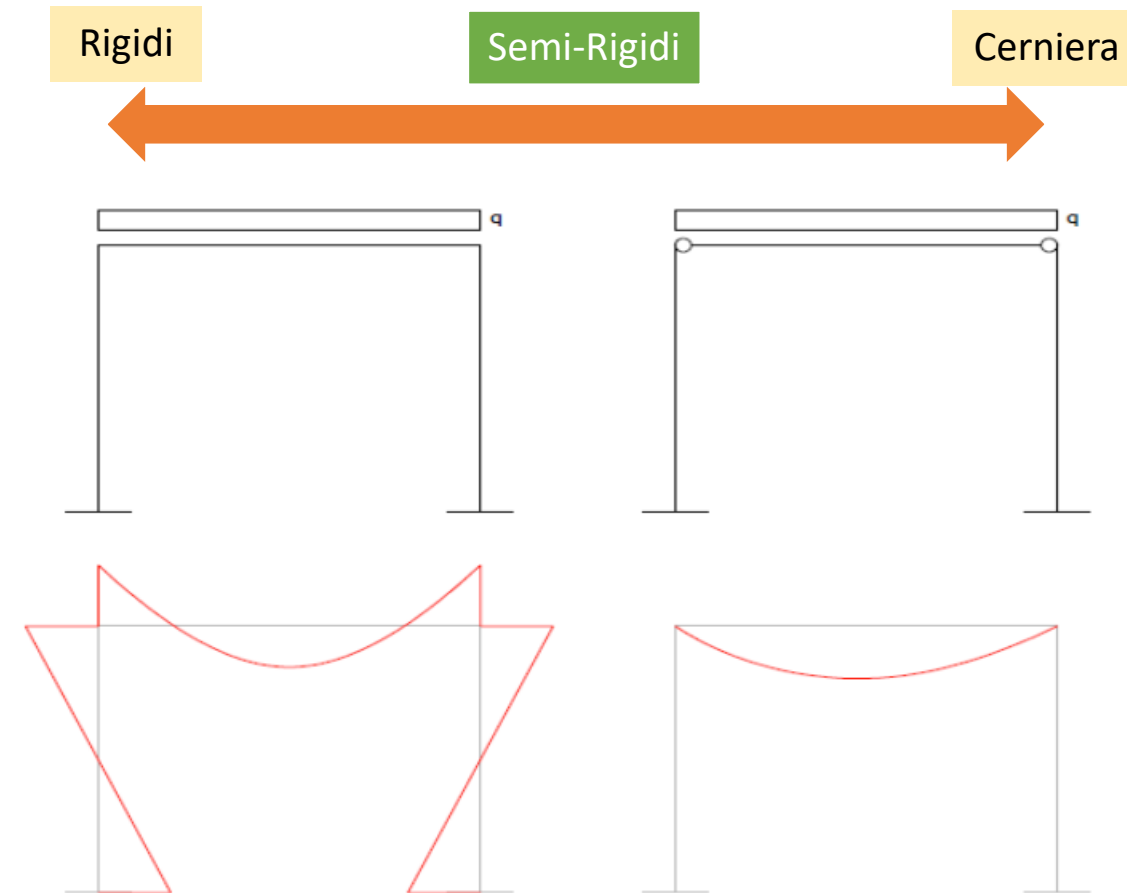
D)



- giunto con piastra saldata, con cordoni di saldatura sia all'anima sia all'ala della trave e bullonata alla colonna.

Giunti rigidi per strutture intelaiate

- Strutture non controventate
- Devono garantire un collegamento ad elevata rigidezza e resistenza a flessione → **iperstaticità**
- **Più onerosa sollecitazione** per travi e pilastri (momento flettente trasmesso dalle travi alle colonne)
- Si tratta in genere di giunzioni di **complessa realizzazione** e **costo** particolarmente elevato



Giunti rigidi (esempi)

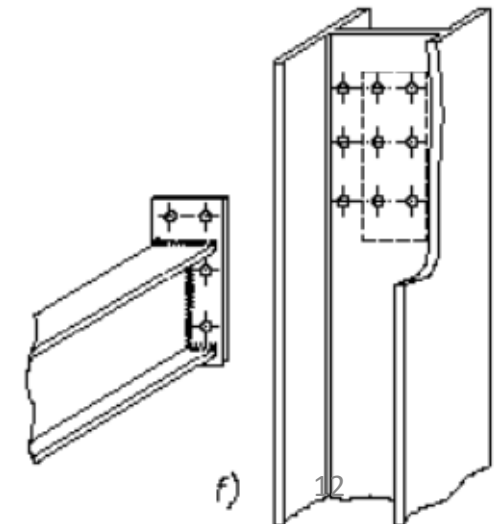
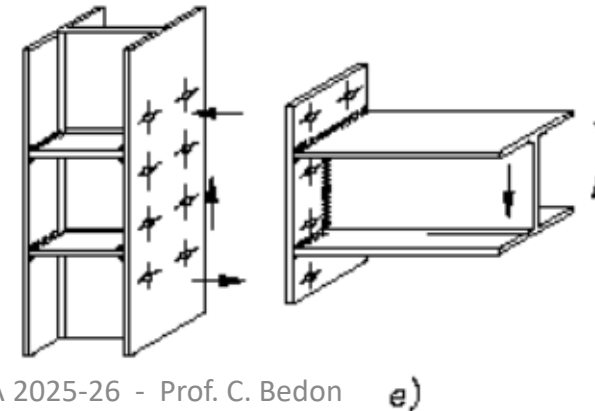
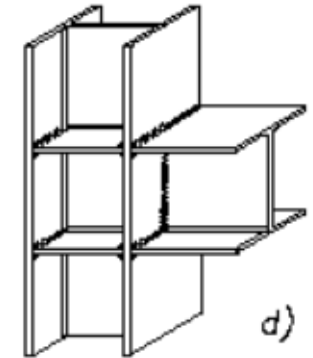
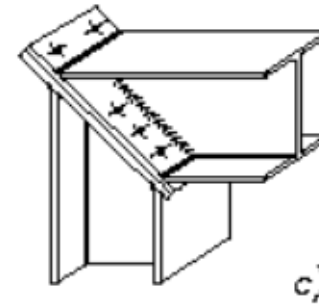
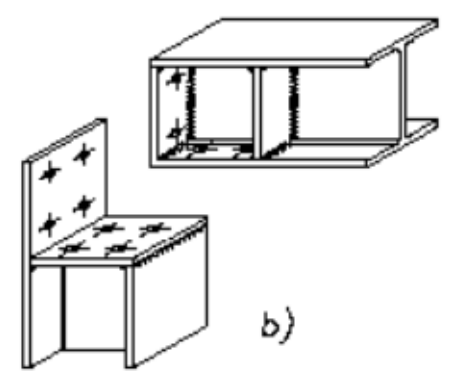
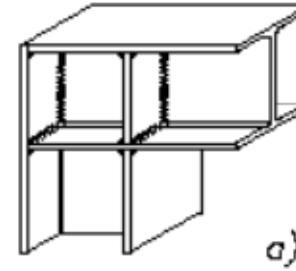
a) nodo di sommità per colonna perimetrale (preparato in stabilimento)

b)-c) nodo di sommità per colonna perimetrale, realizzato saldando piatti forati poi bullonati in opera

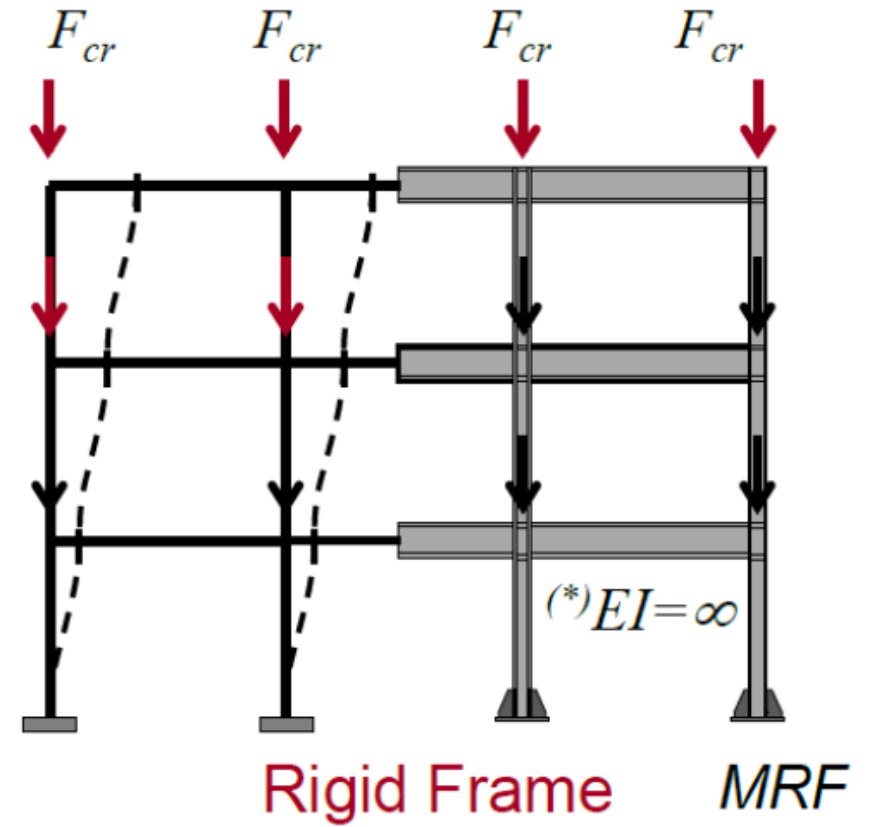
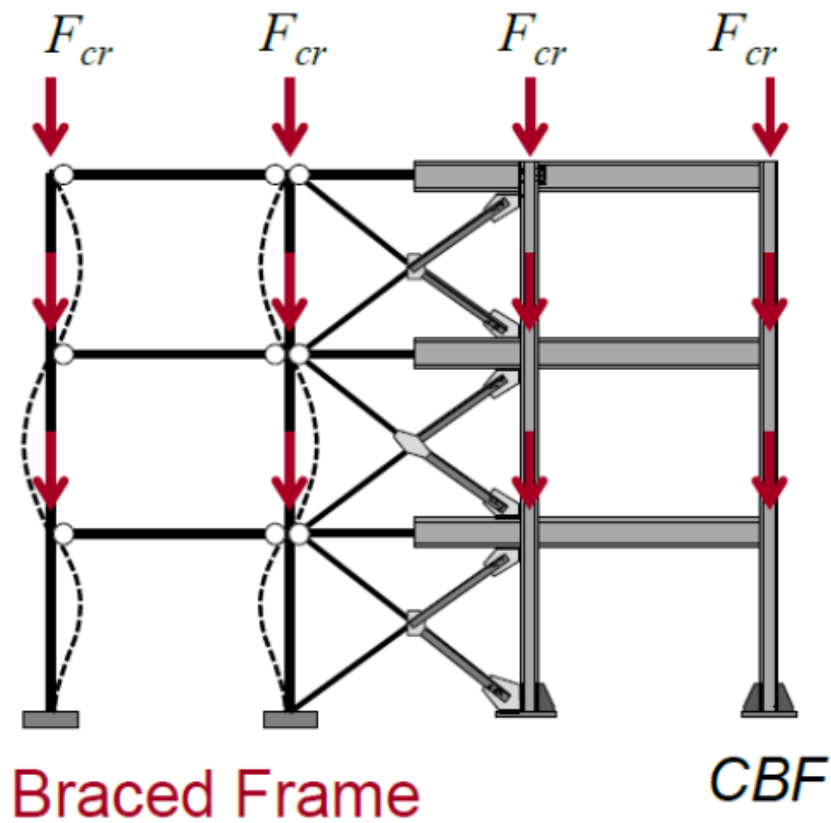
d) nodo interno trave-colonna con trave saldata all'ala della colonna e costole di irrigidimento

e) nodo interno trave-colonna con piastra forata saldata all'estremità della trave e bullonata all'ala della colonna, con irrigidimenti d'anima

f) nodo trave (con saldata una piastra forata in aggetto) - colonna (con anima preventivamente forata)

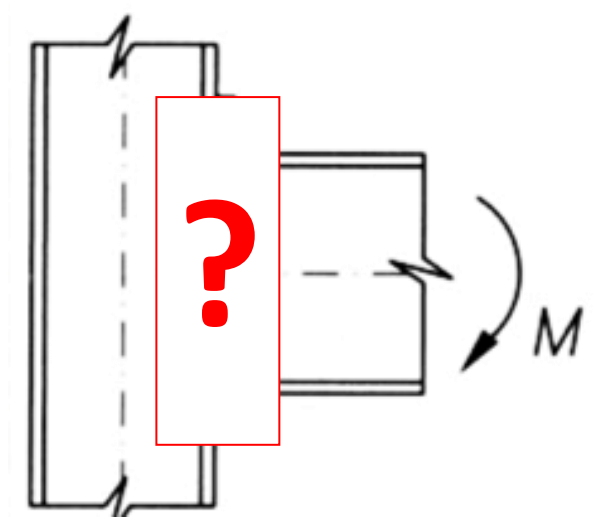


Tipo di comportamento atteso

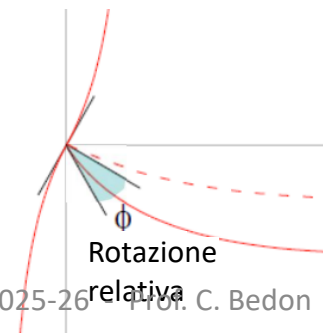
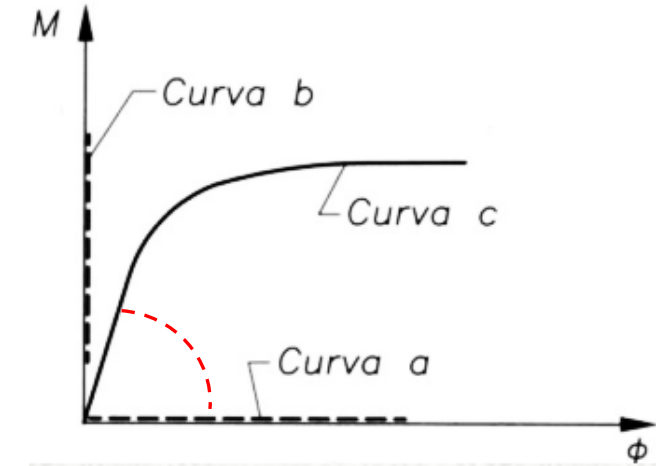


Giunti trave-colonna

- Capacità rotazionale
- Capacità portante flessionale



- La caratterizzazione meccanica avviene in termini di **legame momento-rotazione ($M-\phi$)**
- Questo legame esprime le capacità del nodo in termini di **rigidezza** e **resistenza**
- In termini di **rigidezza**, il legame momento-curvatura consente di definire tre tipologie di giunto, note come:
 - **A cerniera** (curva a) ➔ strutture pendolari
 - **Rigido** (curva b) ➔ incastro ➔ sistemi intelaiato
 - **Semi-rigido** (curva c) ➔ soluzione intermedia ➔ telai semi-continui
- In termini di **resistenza**, si definiscono nodi:
 - **A cerniera**
 - **A completo ripristino** ➔ plasticizza la trave
 - **A parziale ripristino** ➔ plasticizza il giunto



Legame multi-lineare

- Fase elastica
- Fase post-elastica (plasticizzazioni locali o fenomeni non-lineari nelle componenti più deboli)
- Eventuale fase incrudente
- Fase plastica

Rigidezza

Giunti:

➤ **A cerniera**

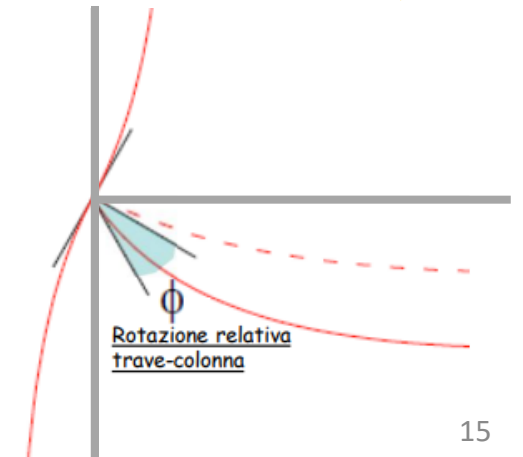
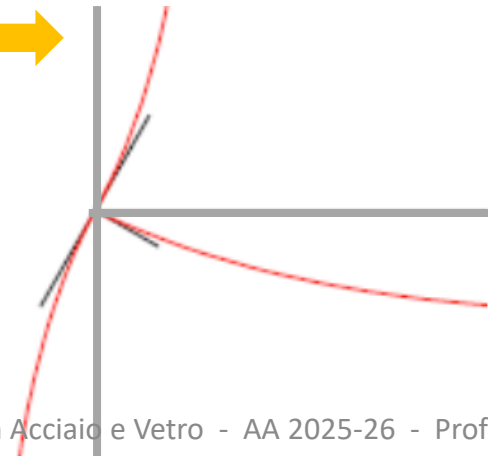
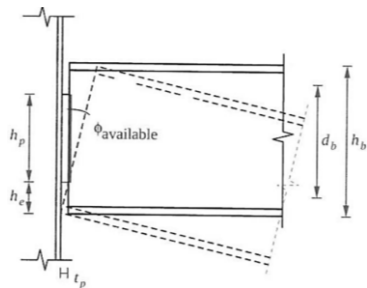
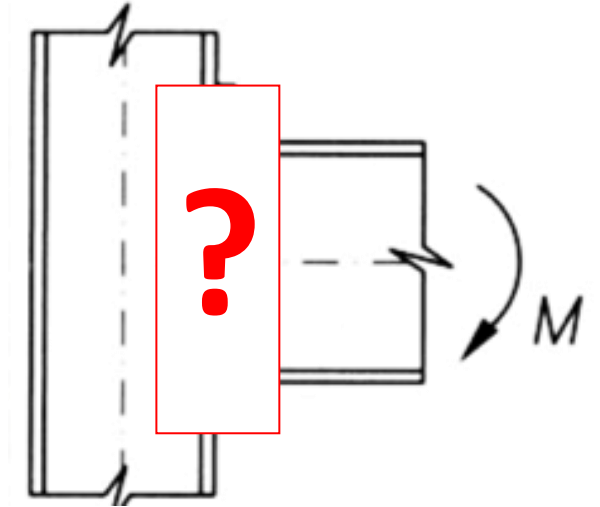
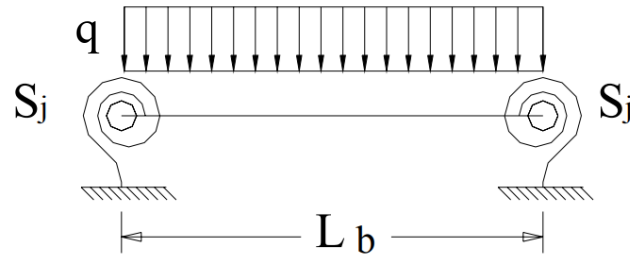
➔ rotazioni relative consentite
(strutture pendolari)

➤ **Rigidi**

➔ rotazioni relative nulle (incastro)

➤ **Semi-rigidi**

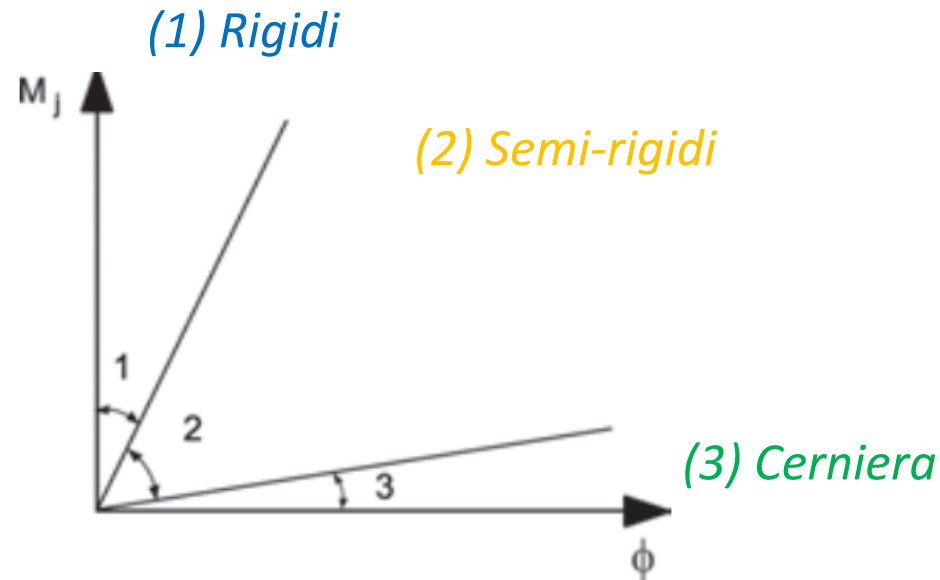
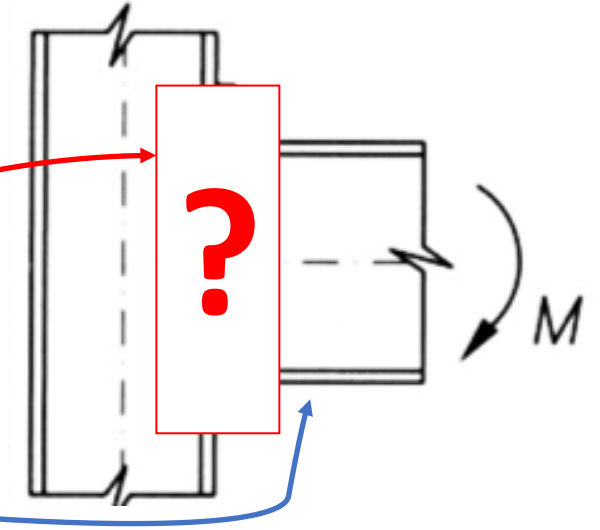
➔ rotazioni relative in parte consentite



Rigidezza

Si valuta il rapporto tra:

- Rigidezza rotazionale iniziale del nodo, $S_{j,ini}$
- Rigidezza flessionale della trave collegata, EI_b/L_b

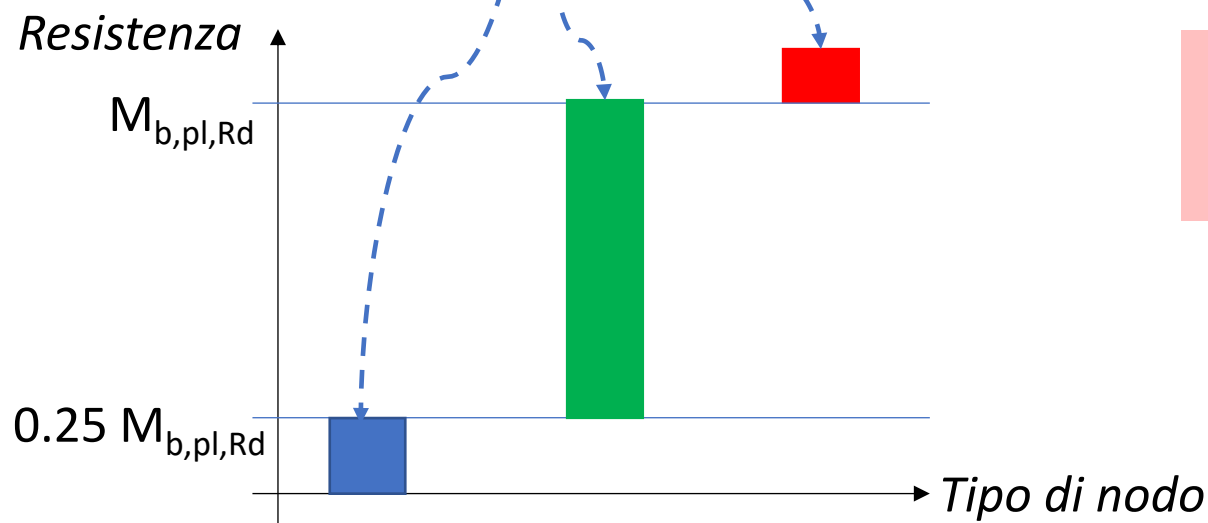


$$k_b = \frac{S_{j,ini}}{E I_b / L_b} \left\{ \begin{array}{l} \geq 8 \text{ telai controventati} \\ \geq 25 \text{ non controventati} \end{array} \right. \quad (1)$$
$$\leq 0.5 \text{ qualsiasi struttura} \quad (3)$$

Resistenza

Giunti:

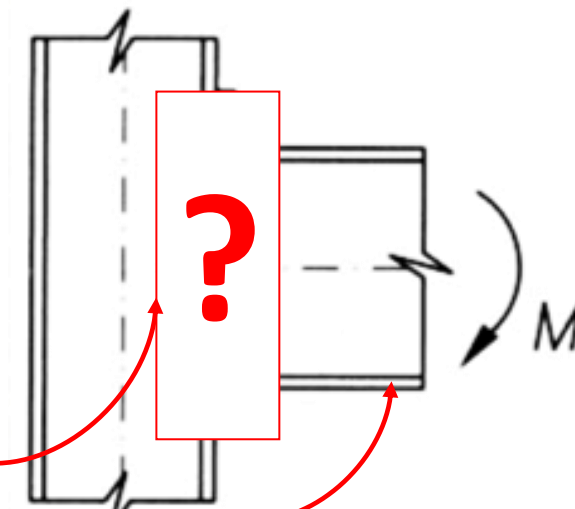
- A cerniera
- A completo ripristino
- A parziale ripristino



➔ se $M_{j,Rd} < 0.25 M_{b,pl,Rd}$

➔ se $M_{j,Rd} > M_{b,pl,Rd}$

➔ se $0.25 M_{b,pl,Rd} \leq M_{j,Rd} \leq M_{b,pl,Rd}$

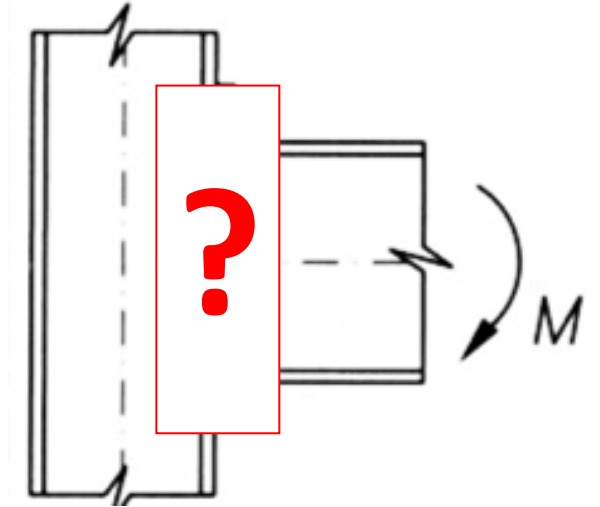


- Da controllare la capacità rotazionale
- Se $M_{j,Rd} > 1.2 M_{b,pl,Rd}$ è garantito che la cerniera plastica si formerà nella trave (controllo non necessario)

$$\bar{m} = \frac{M_{j,Rd}}{M_{b,pl,Rd}} \begin{cases} > 1 & \rightarrow \text{a completo ripristino} \\ 0.25-1 & \rightarrow \text{a parziale ripristino} \\ < 0.25 & \rightarrow \text{cerniera} \end{cases}$$

Giunti trave-colonna

		RESISTENZA		
		COMPLETO RIPRISTINO	PARZIALE RIPRISTINO	CERNIERA
RIGIDEZZA	RIGIDO	Continuo	Semi-continuo	-
	SEMI-RIGIDO	Semi-continuo	Semi-continuo	-
	CERNIERA	-	-	Semplice



- La classificazione dipende dalle caratteristiche del giunto ma anche dalle caratteristiche delle membrature collegate (in particolare le travi)
- In zona sismica: a completo ripristino (con sovrarresistenza)

Metodo per componenti (Appendice J)

Compressione:

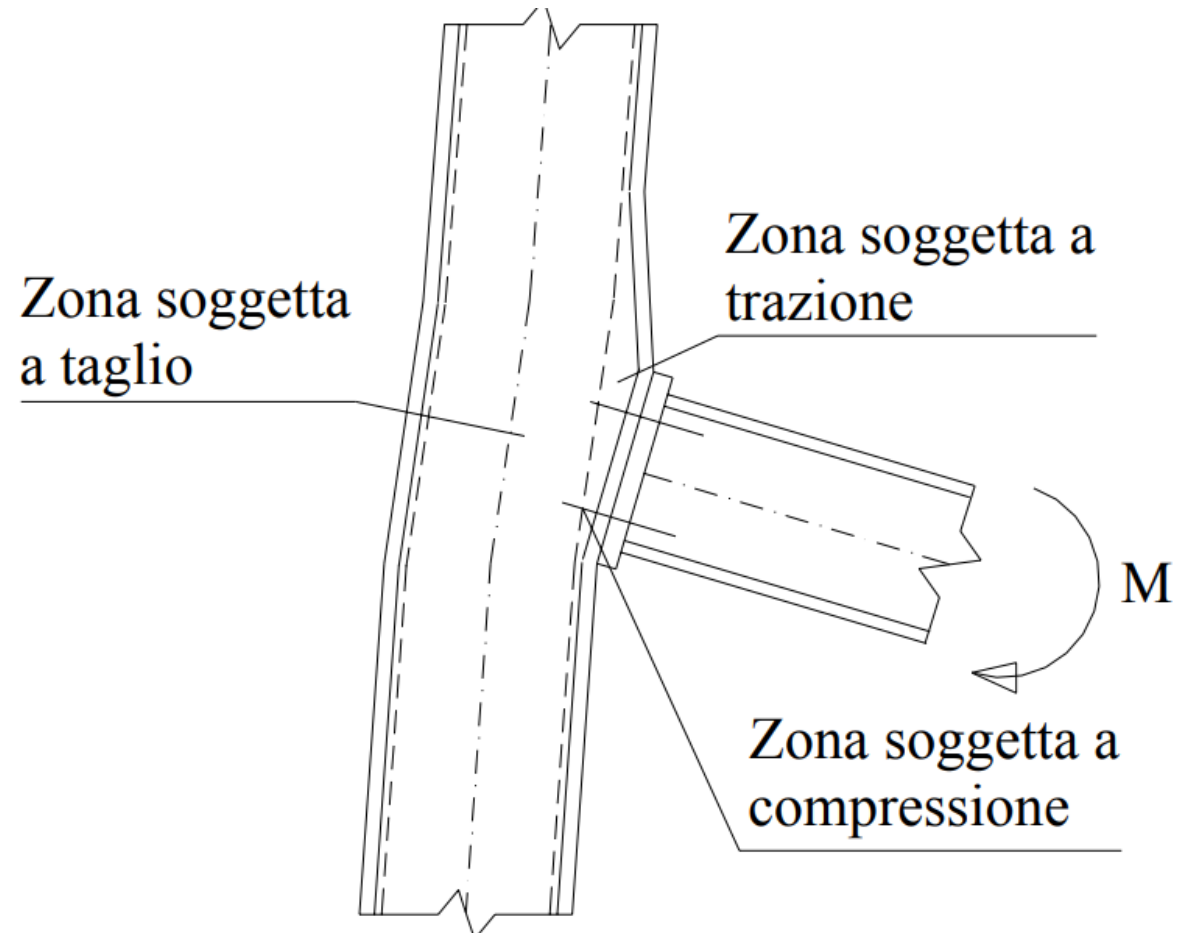
- Ala della trave a compressione
- Anima della colonna a compressione

Trazione:

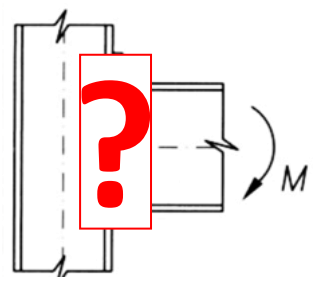
- Bulloni a trazione
- Anima della colonna a trazione
- Anima della trave a trazione
- Ala della colonna a flessione
- Piatto flangiato d'estremità a flessione

Taglio:

- Pannello d'anima della colonna a taglio



Metodo per componenti (Appendice J)

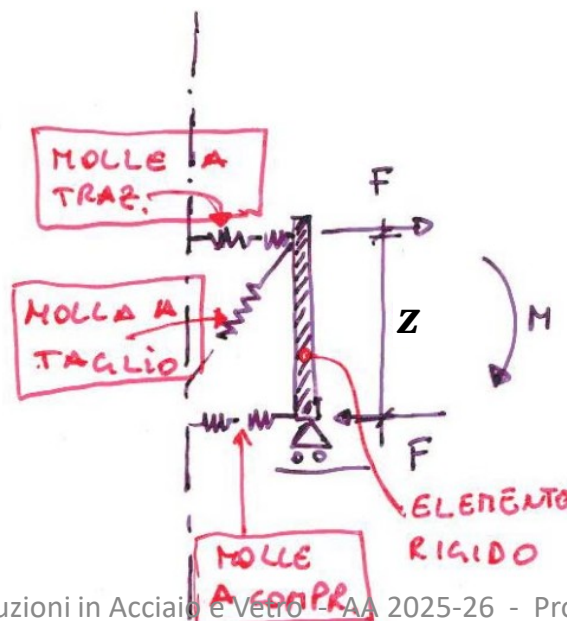
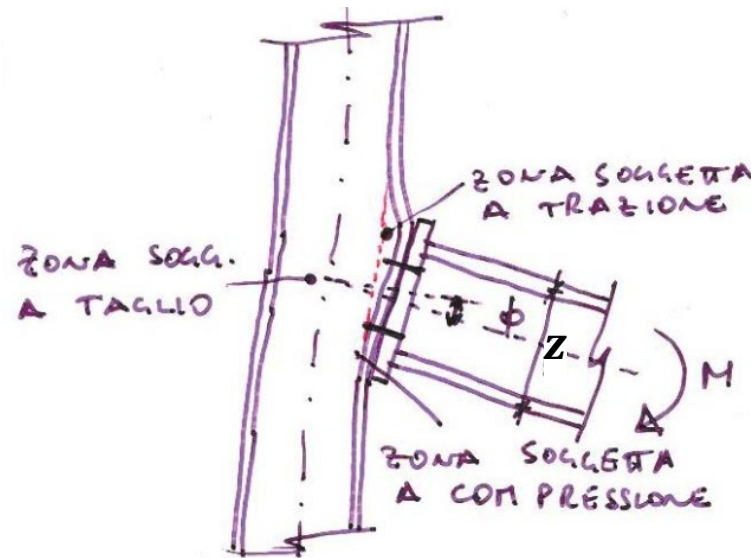


STEP 1:

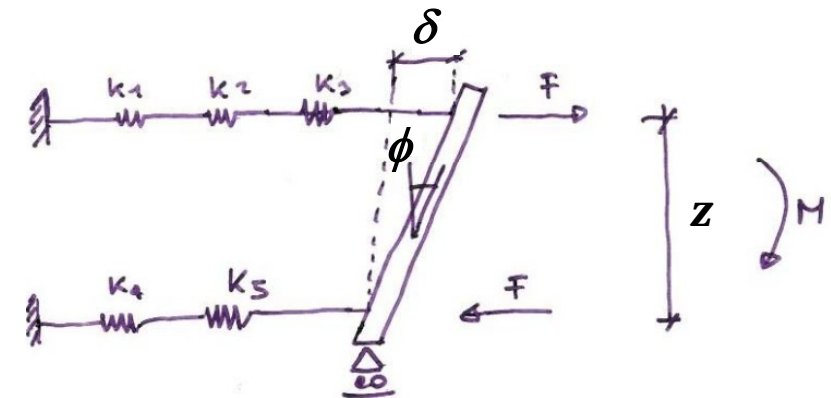
- Si individuano le componenti attive del giunto

STEP 2:

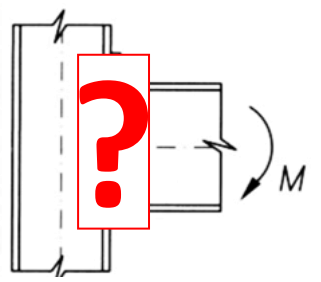
- Si caratterizza ciascuna componente tramite un legame bilineare allungamento ($F-\delta$) → **Molle assiali in serie**



$$F = \frac{M}{Z}$$



Metodo per componenti (Appendice J)

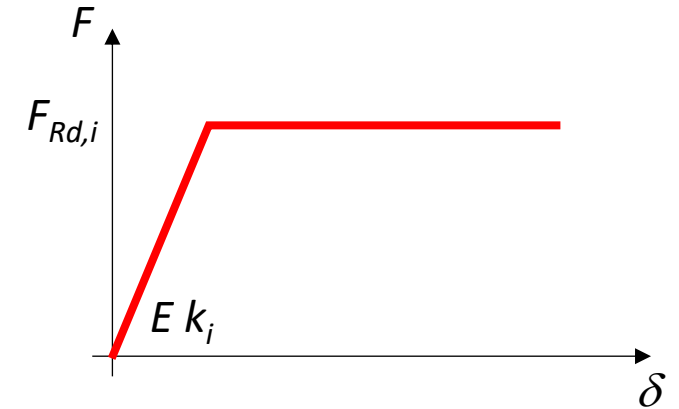


STEP 2:

- È in particolare necessario determinare la resistenza $F_{Rd,i}$ e la rigidezza k_i in campo elastico di ciascuna componente

STEP 3:

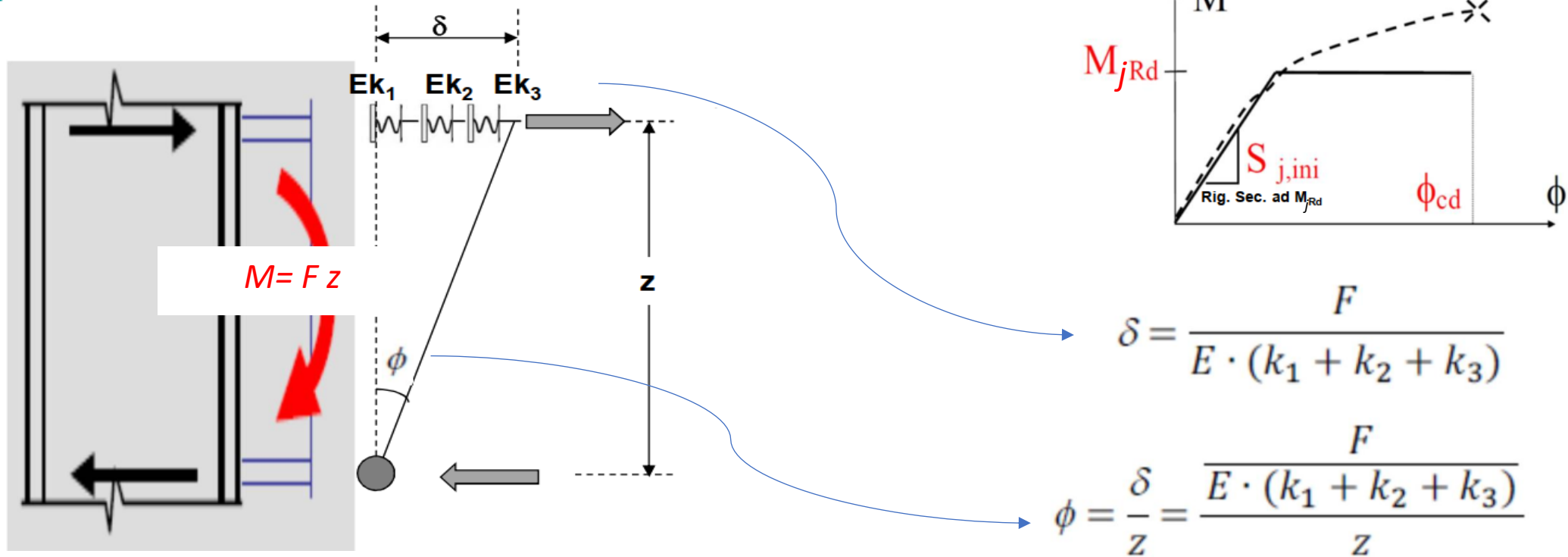
- Si assemblano le componenti dal #2 e si valutano le prestazioni del giunto in termini di legame momento-rotazione:



$$M_{j,Rd} = \min(F_{Rd,i}) \cdot z$$

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

Esempio



$$S_{j,ini} = \frac{M}{\phi} = \frac{F \cdot z}{\phi} = \frac{F \cdot z}{\frac{F}{E \cdot (k_1 + k_2 + k_3) \cdot z}} = \frac{E \cdot z^2}{\sum \frac{1}{k_i}}$$



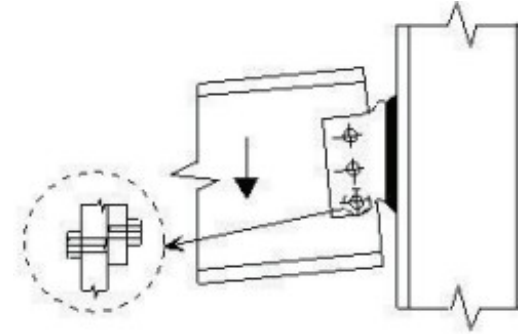
$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\sum \left[\frac{1}{k_i} \right]}$$

Capacità ultima

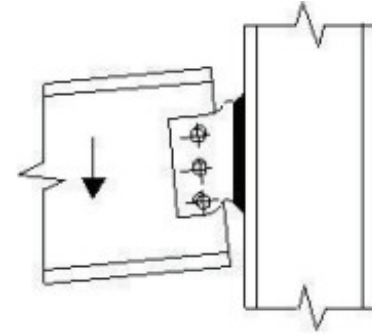
I dettagli costruttivi saranno progettati per garantire:

- **Adeguate capacità rotazionale**
- **Collasso duttile**

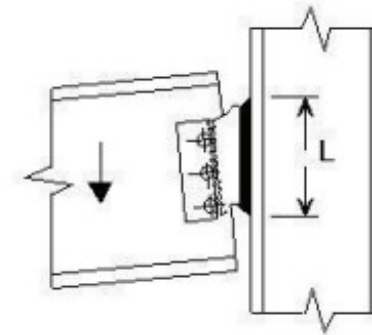
La rotazione ultima di un giunto è governata dalla **componente più debole**



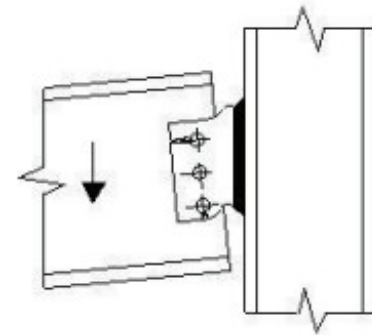
(a) Bolt fracture



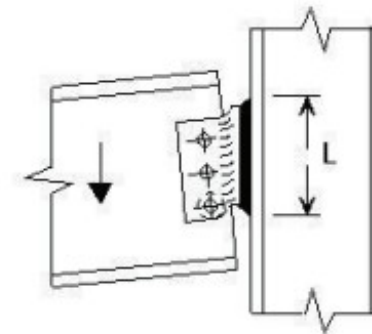
(b) Bearing yielding



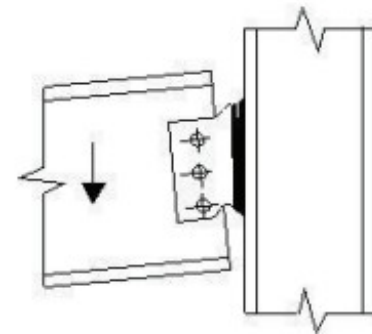
(c) Net-section fracture



(d) Edge distance fracture



(e) Plate yielding



(f) Weld fracture

Legame costitutivo di progetto

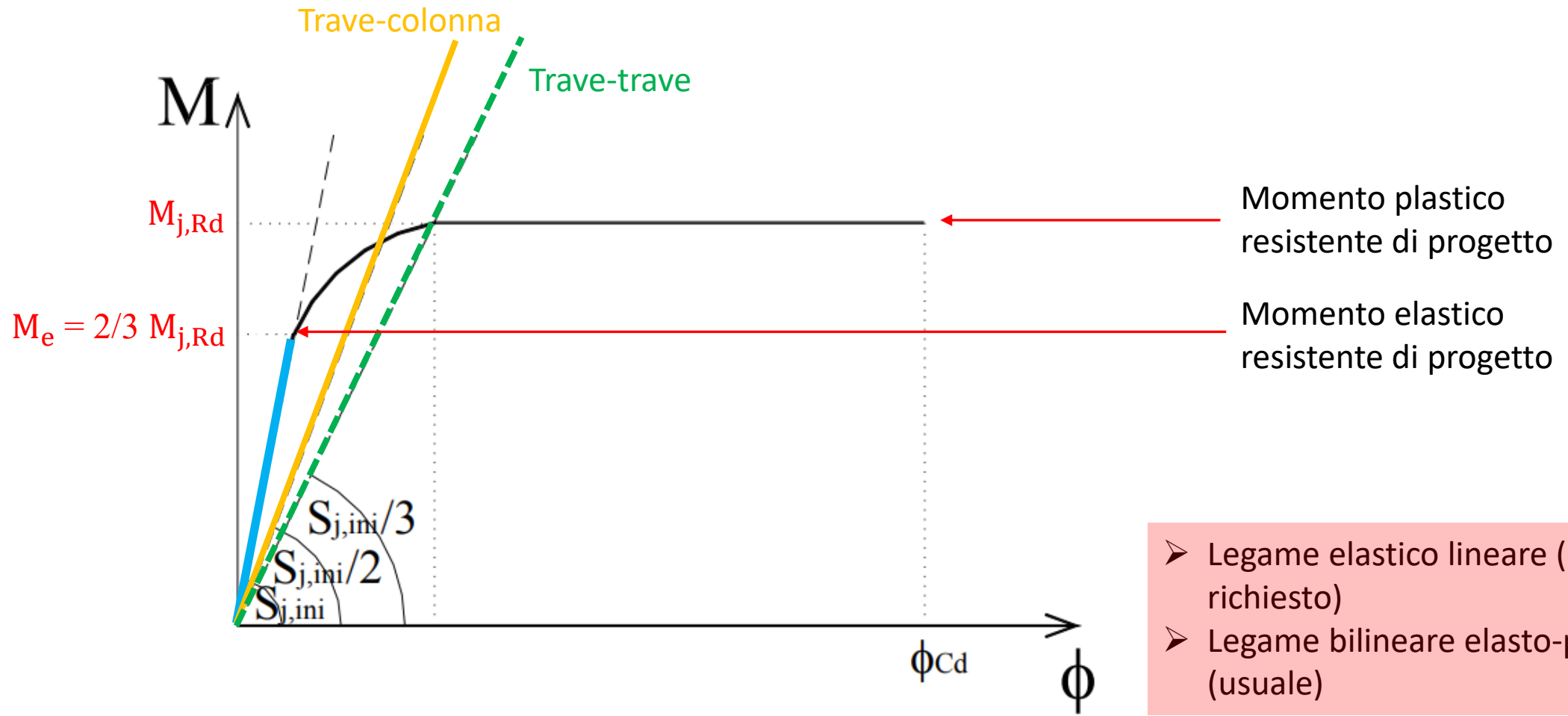
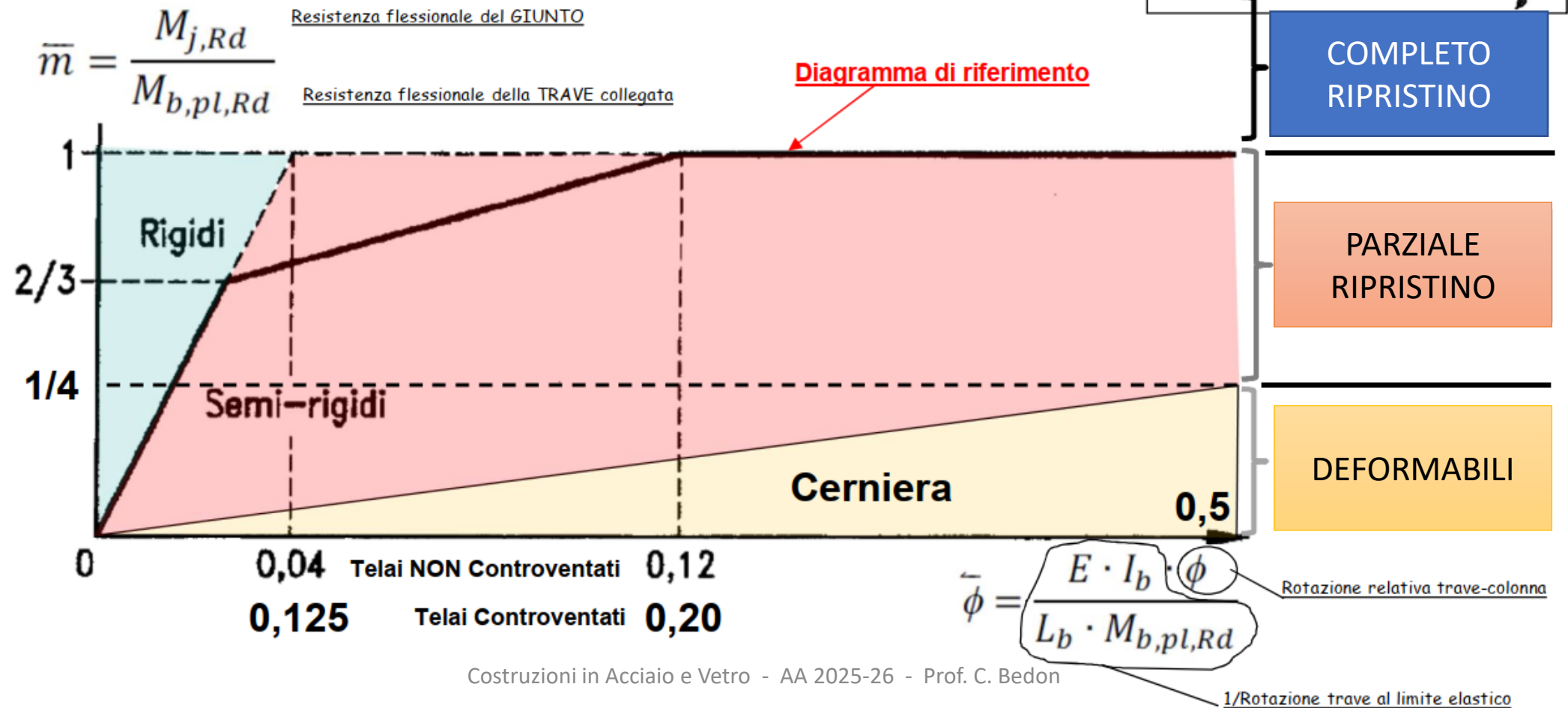
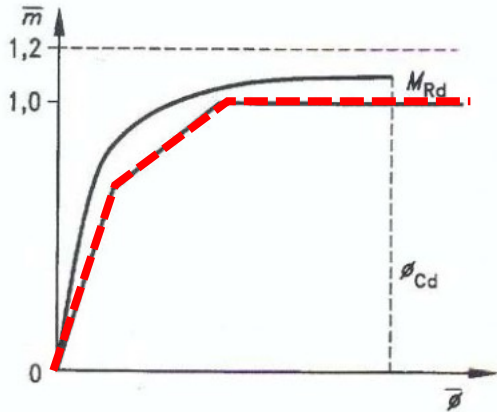


Diagramma momento-rotazione idealizzato

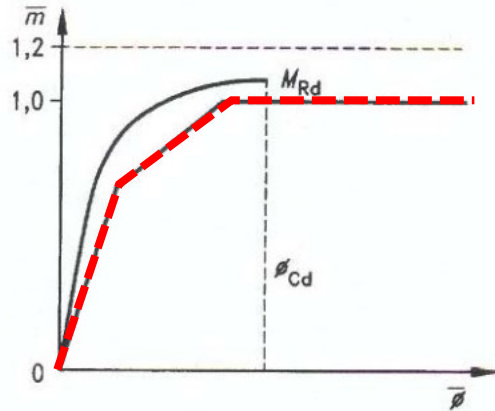
Domini di separazione



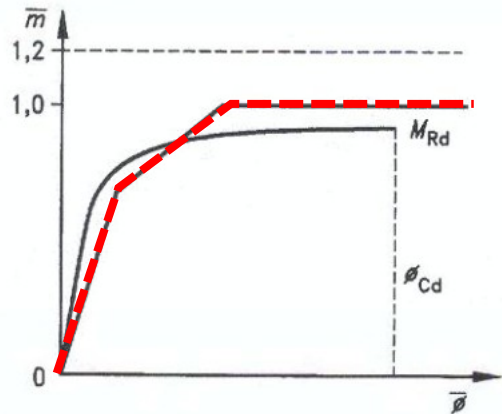
Domini di separazione - Esempi



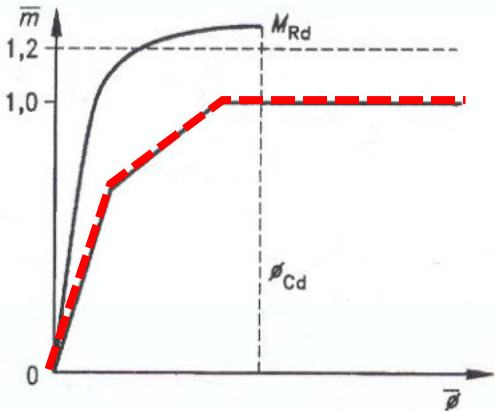
Rigido - Completo ripristino di resistenza
($M_{Rd} < 1,2M_{pl,Rd}$ verificare quindi se è sufficiente la capacità di rotazione ϕ_{Cd})



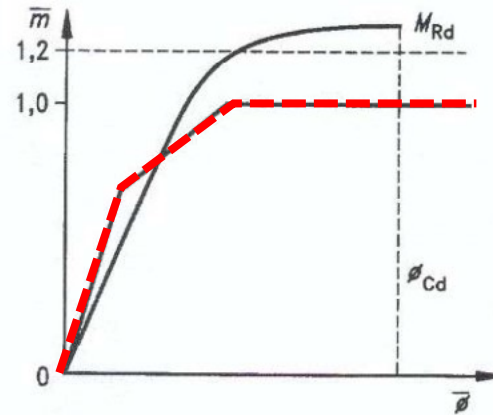
Rigido - Completo ripristino di resistenza
($M_{Rd} < 1,2M_{pl,Rd}$ verificare quindi se è sufficiente la capacità di rotazione ϕ_{Cd})



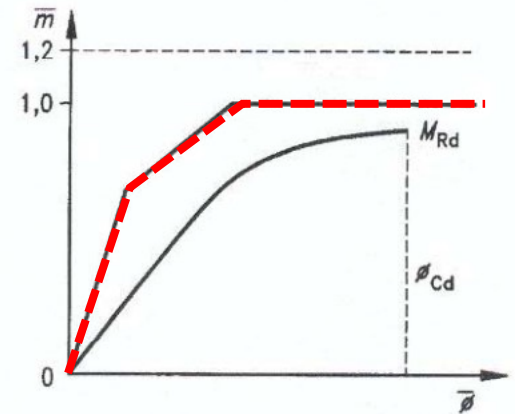
Rigido - Parziale ripristino di resistenza
($M_{Rd} < M_{pl,Rd}$)



Rigido - Completo ripristino di resistenza
($M_{Rd} > 1,2M_{pl,Rd}$)



Semi-rigido - Completo ripristino di resistenza
($M_{Rd} > 1,2M_{pl,Rd}$)



Semi-rigido - Parziale ripristino di resistenza
($M_{Rd} < M_{pl,Rd}$)

Fig. 6.9.9 - Esempi di classificazione di relazioni momento-rotazione per collegamenti trave-colonna

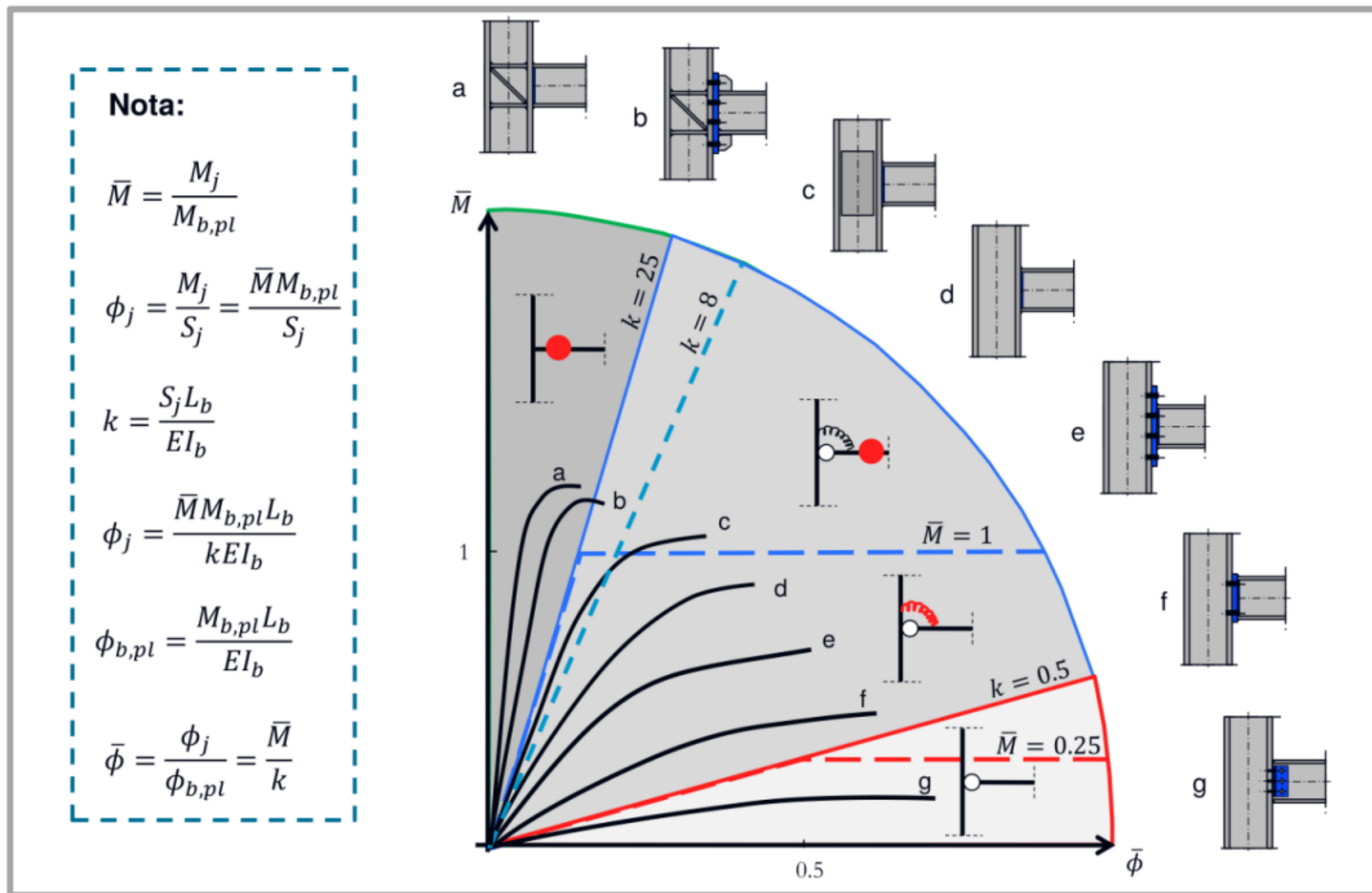


Fig.9 – Legame Momento-Rotazione per tipici esempi di nodi trave-colonna in acciaio

Giunto trave-colonna saldato

- Il metodo per componenti da buoni risultati per elementi non irrigiditi
- Per applicarlo è innanzitutto necessario definire la geometria della sezione (profili tipo IPE o HE)
- Secondo EC3 - Appendice J, è necessario calcolare le resistenze e rigidezze delle componenti, in particolare:

➤ (1) Zona tesa

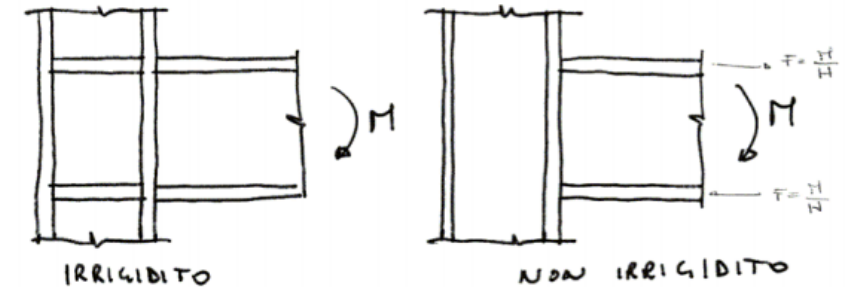
- (a1) Resistenza ala colonna non irrigidita in zona tesa
- (b1) Resistenza anima colonna non irrigidita in zona tesa
- (c1) Resistenza colonna irrigidita in zona tesa

➤ (2) Zona compressa (con collasso per schacciamento o instabilità)

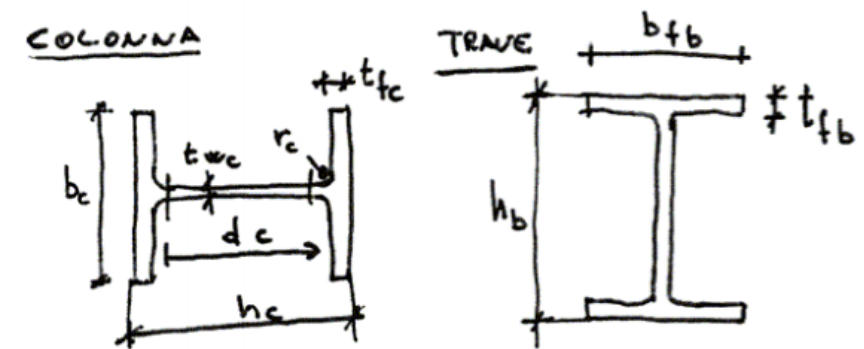
- (b2) Resistenza anima colonna non irrigidita in zona compressa
- (c2) Resistenza anima colonna irrigidita in zona compressa

➤ (3) Zona a taglio

- (a3) Pannello d'anima di colonna non irrigidita



Collegamento irrigidito e non irrigidito



Geometria di profili standard

Giunto trave-colonna saldato – Zona tesa

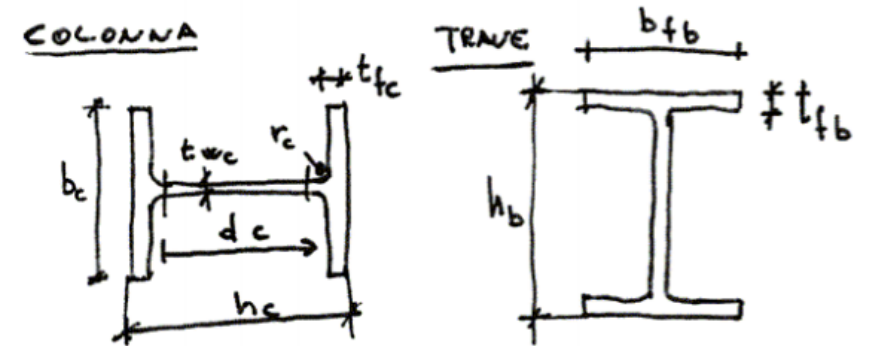
- (a1) Resistenza ala colonna non irrigidita in zona tesa

La resistenza viene definita attraverso la determinazione di una base efficace:

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_{m0}} \cdot t_{fb} [t_{wc} + 2r_c + 7t_{fc}]$$

Se $F_{t,Rd} < 0.7 \cdot f_{yb} / \gamma_{m0} \cdot t_{fb} \cdot b_{fb}$ il giunto deve essere irrigidito. Le saldature che collegano l'ala della trave alla colonna devono poter assorbire lo sforzo di plasticizzazione

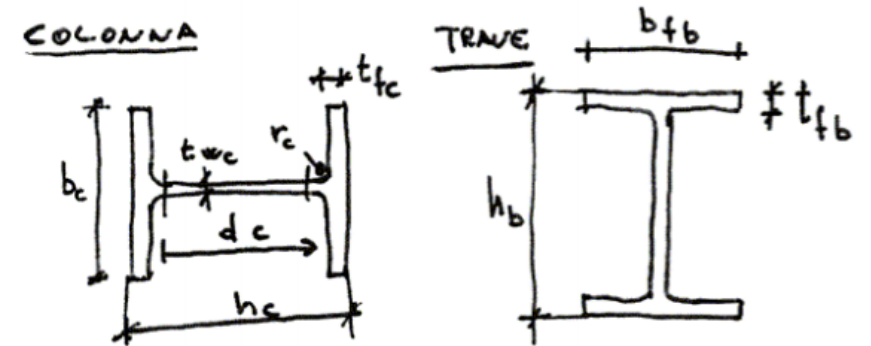
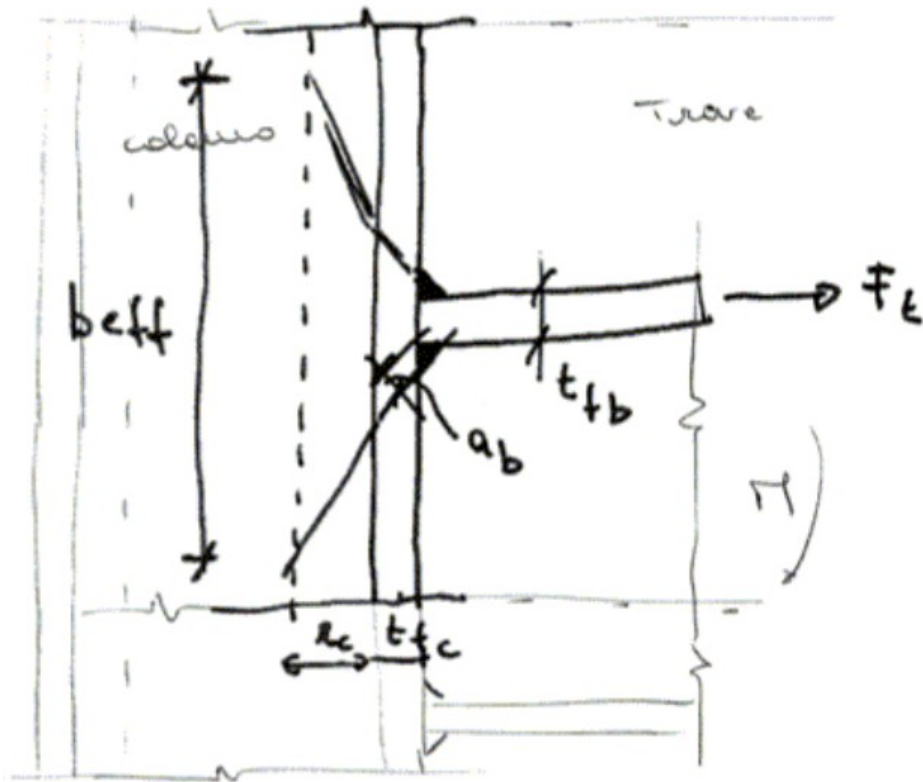
$$\frac{f_{yb} \cdot t_{fb} \cdot b_{fb}}{\gamma_{m0}}$$



Geometria di profili standard

Giunto trave-colonna saldato – Zona tesa

- (b1) Resistenza anima colonna non irrigidita in zona tesa



Geometria di profili standard

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + r_c)$$

$5(t_{fc} + e_c)$ corrisponde ad una diffusione degli sforzi di circa 60°

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{yc}}{\gamma_{m0}} \cdot t_{wc} \cdot b_{eff}$$

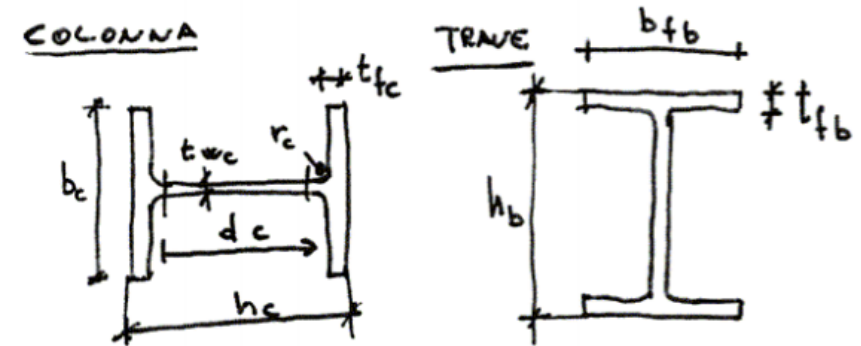
Giunto trave-colonna saldato – Zona tesa

- (c1) Resistenza colonna irrigidita in zona tesa

Se la colonna è irrigidita mediante un irrigidimento di spessore non minore all'ala della trave, la resistenza a trazione è pari alla resistenza dell'ala della trave:

$$F_{t,Rd} = \frac{f_{yb}}{\gamma_{m0}} \cdot t_{fb} \cdot b_{fb}$$

Una volta calcolato il valore minimo di $F_{t,Rd}$ conosciamo la resistenza in zona tesa.



Geometria di profili standard

Giunto trave-colonna saldato – Zona compressa

- (b2) Resistenza anima colonna non irrigidita in zona compressa

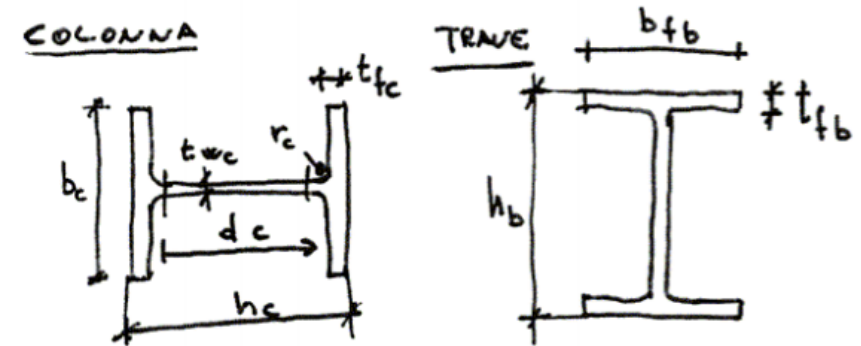
$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + r_c)$$

come per la zona tesa.

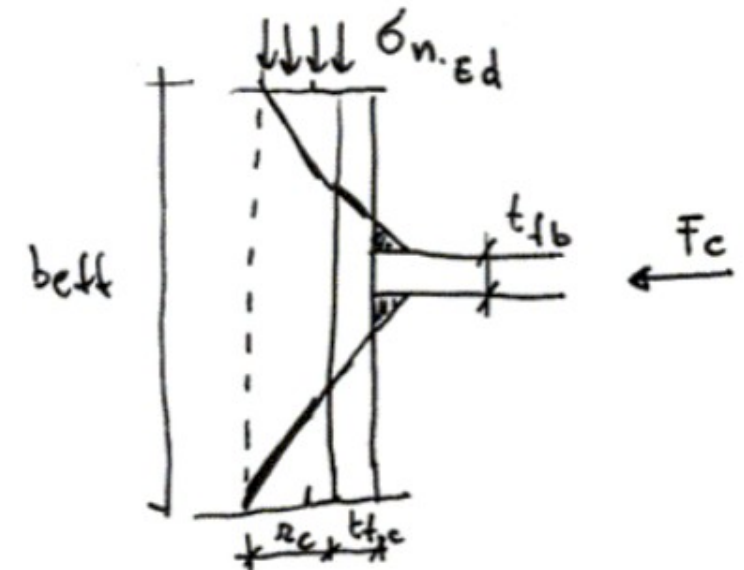
La resistenza allo schiacciamento è assunta pari a:

$$F_{c,Rd} = f_{y,c} \cdot t_{wc} \cdot \left[1.25 - 0.5\gamma_{m0} \cdot \frac{\sigma_{n,Ed}}{f_{yc}} \right] \cdot \frac{b_{eff}}{\gamma_{m0}}$$

con $F_{c,Rd} \leq f_{y,c} \cdot t_{wc} \cdot \frac{b_{eff}}{\gamma_{m0}}$ nel caso $\sigma_{n,Ed} = 0$, con $\sigma_{n,Ed} = 0$ pari alla tensione normale massima di compressione nell'anima della colonna, dovuta a sforzo normale e momento flettente di progetto. Il termine entro le parentesi quadre tiene conto dell'iterazione con lo sforzo normale: ho uno stato di sforzo di compressione bi-assiale, quindi plasticizza prima.



Geometria di profili standard

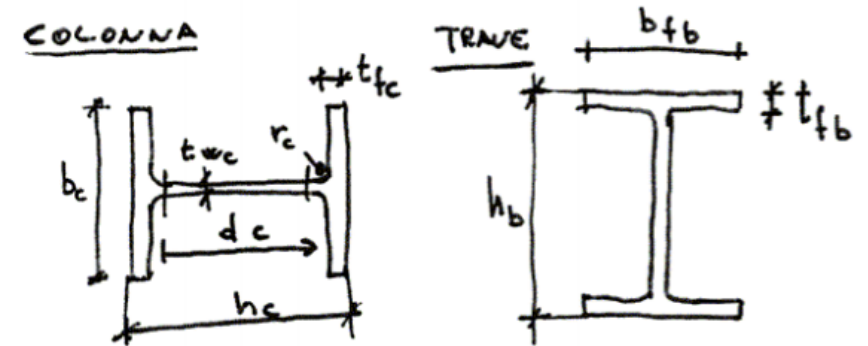


Giunto trave-colonna saldato – Zona compressa

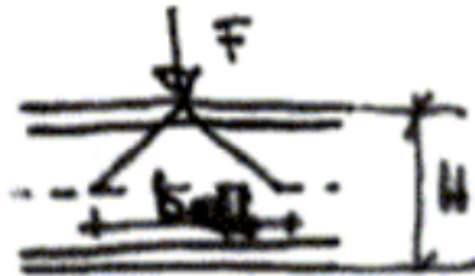
- (c2) Resistenza anima colonna irrigidita in zona compressa

Come per la zona tesa, la resistenza a compressione è pari alla resistenza di progetto dell'ala della trave, purché lo spessori dell'irrigidimento sia almeno pari a t_{fb} .

N.B.: Deve essere verificato che l'anima della colonna non instabilizzi.



Geometria di profili standard



$$b_{eff} = H$$

(diffusione a 45°)

$$R_{b,Rd} = \frac{f_{yc} \cdot b_{eff} \cdot t_{wc}}{\gamma_{m1}}$$

Giunto trave-colonna saldato – Zona a taglio

- (a3) Pannello d'anima di colonna non irrigidita

La resistenza plastica di progetto del pannello d'anima risulta

$$V_{pl,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{yc} \cdot A_v}{\gamma_{m0} \sqrt{3}}$$

con

$$A_v = A_c - 2 \cdot b_c \cdot t_{fc} + (t_{wc} + 2 \cdot r_c) \cdot t_{fc}$$

area resistente a taglio.

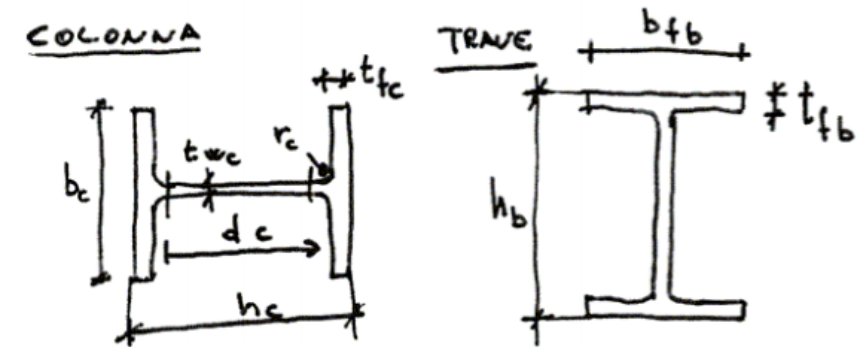
N.B.: per aumentare la resistenza a taglio del pannello d'anima può essere saldato un piatto su un lato dell'anima. In questo caso lo spessore totale dell'anima sarà pari allo spessore dell'anima più metà spessore del piatto di irrigidimento.

Quando vengono usati irrigidimenti diagonali per aumentare la resistenza a taglio, questi devono essere progettati per resistere alle forze di trazione e compressione trasmesse alla colonna dalle ali della trave.

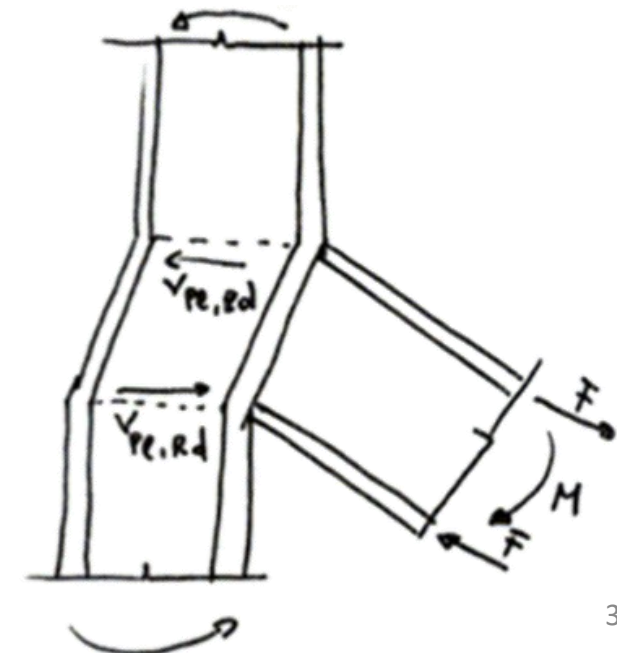
Le saldature fra irrigidimenti e ali colonna devono essere progettate in modo da resistere alle forze negli irrigidimenti.

Posto $H = h_b - t_{fb}$, definito braccio della coppia interna, si ha che:

$$M_{Rd} = \min(F_{Rt}; F_{Rc}; V_{pl,Rd}) \cdot H$$

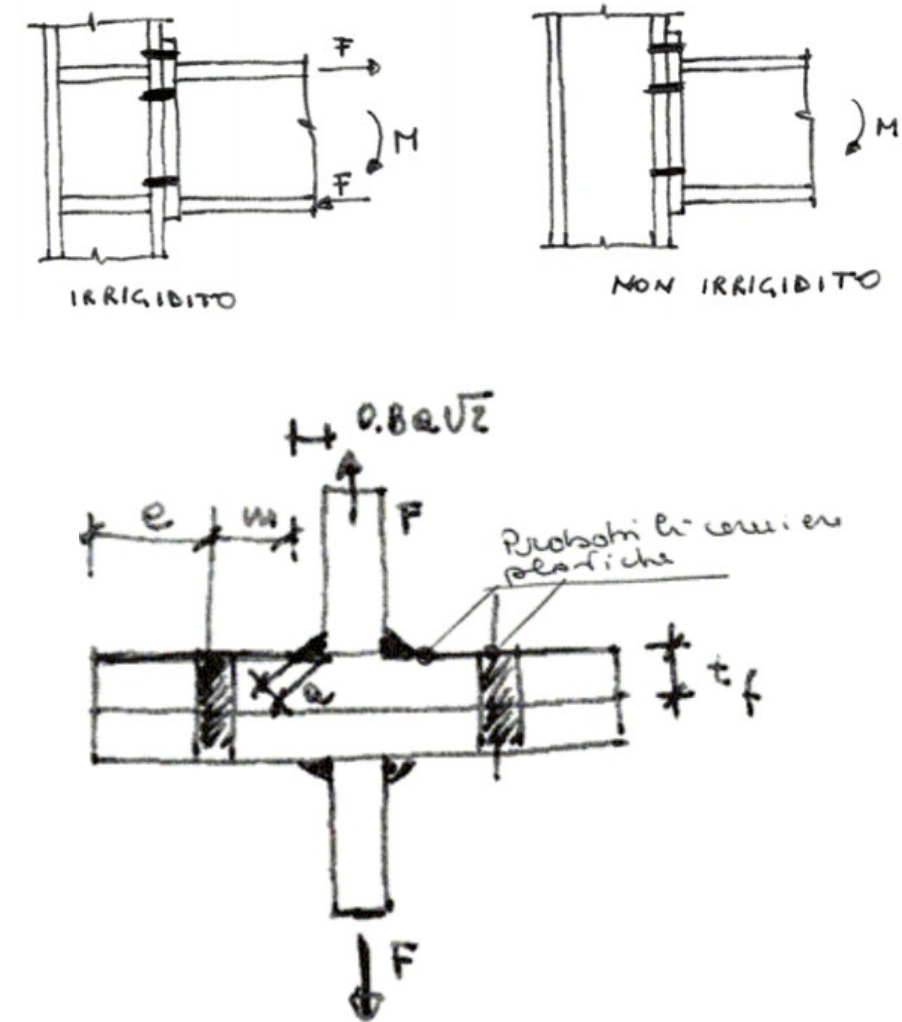


Geometria di profili standard



Giunto trave-colonna bullonato

- Le ipotesi che si assumono per questo calcolo sono di avere due bulloni per fila e che la flangia non sia irrigidita
- Nello studio di questo tipo di giunto un ruolo importante viene svolto dagli elementi a t equivalenti (t -stub)
- Il comportamento di questo elemento è governato da:
 - ☐ resistenza-rigidezza ala
 - ☐ resistenza dei bulloni
 - ☐ resistenza anima
 - ☐ resistenza saldatura anima-ala
- Sono tre i possibili meccanismi di collasso di un elemento t -stub:
 - ☐ **Modo 1** : Meccanismo plastico completo ala (cerniera plastica) **FLANGIA (FLESSIONE)**
 - ☐ **Modo 2** : Rottura bulloni con snervamento ala **COMBINATO**
 - ☐ **Modo 3** : Rottura bulloni **BULLONI (TRAZIONE)**



Giunto trave-colonna bullonato

Per modellare il comportamento in termini di legame momento flettente-rotazione dei nodi trave-colonna considerati semi-rigidi si può ricorrere al metodo delle componenti attraverso l'introduzione di un cosiddetto "T-stub" equivalente. L'equivalenza è stabilita mediante la definizione di una lunghezza "efficace" o lunghezza "effettiva" l_{eff} .

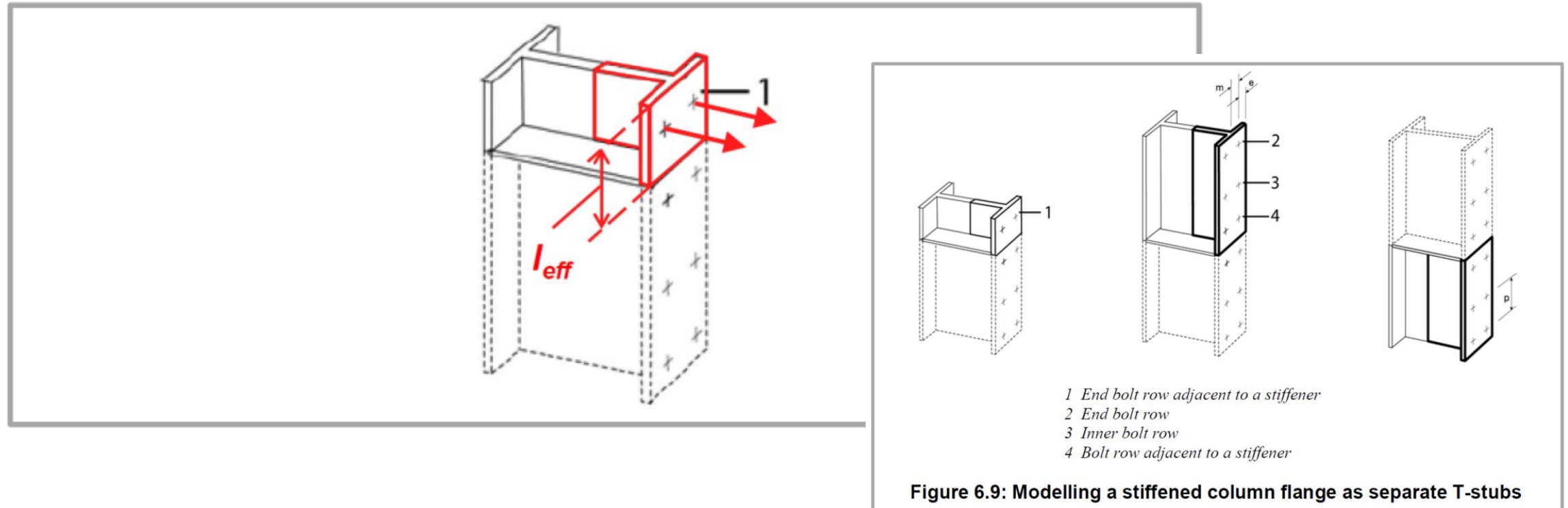


Fig.15 – Modellazione dell'ala di una colonna rinforzata come T-stub separati

Giunto trave-colonna bullonato

Indicato con:

$$M_{pl,Rd} = \frac{t_f^2 \cdot \sigma_y}{4 \cdot \gamma_{m0}} \cdot l_{eff}$$

il momento plastico dell'ala; $B_{t,Rd}$ resistenza a rottura del bullone e l_{eff} la larghezza efficace del t-stub (di difficile valutazione), avremo:

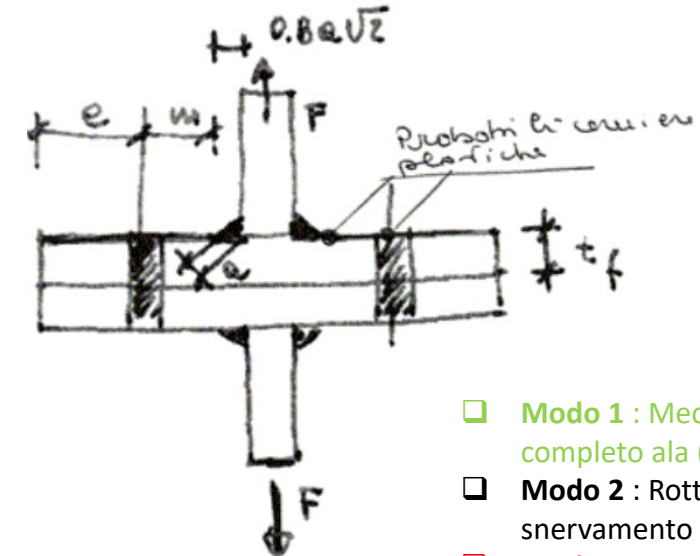
$$\text{Modo1} : F_{t,Rd} = \frac{4M_{pl,Rd}}{m}$$

$$\text{Modo2} : F_{t,Rd} = \frac{2M_{pl,Rd} + e \cdot \sum B_{t,Rd}}{e + m}$$

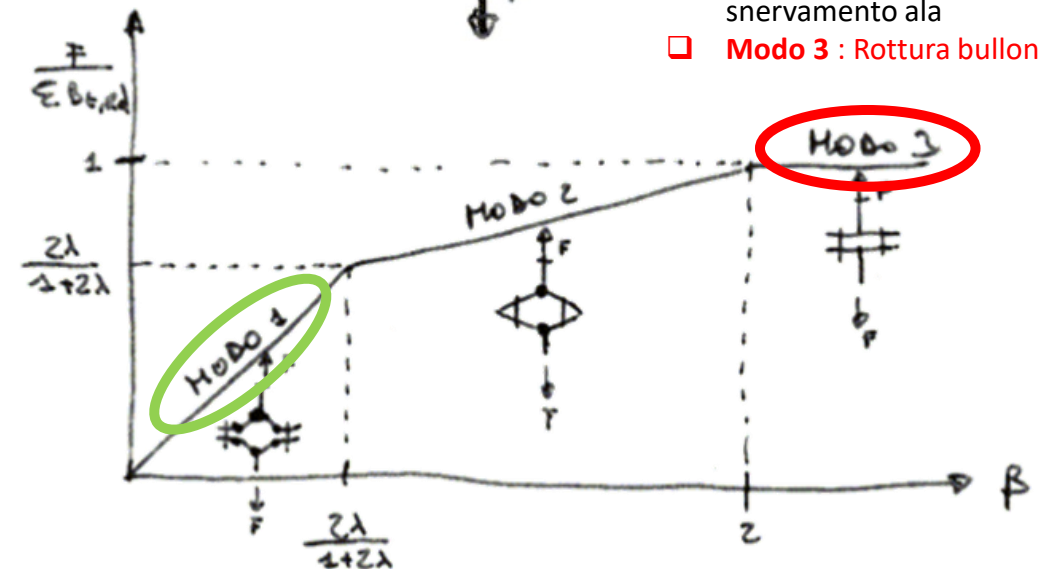
$$\text{Modo3} : F_{t,Rd} = \sum B_{t,Rd}$$

con la sommatoria estesa a tutti i bulloni del t-stub. Ponendo

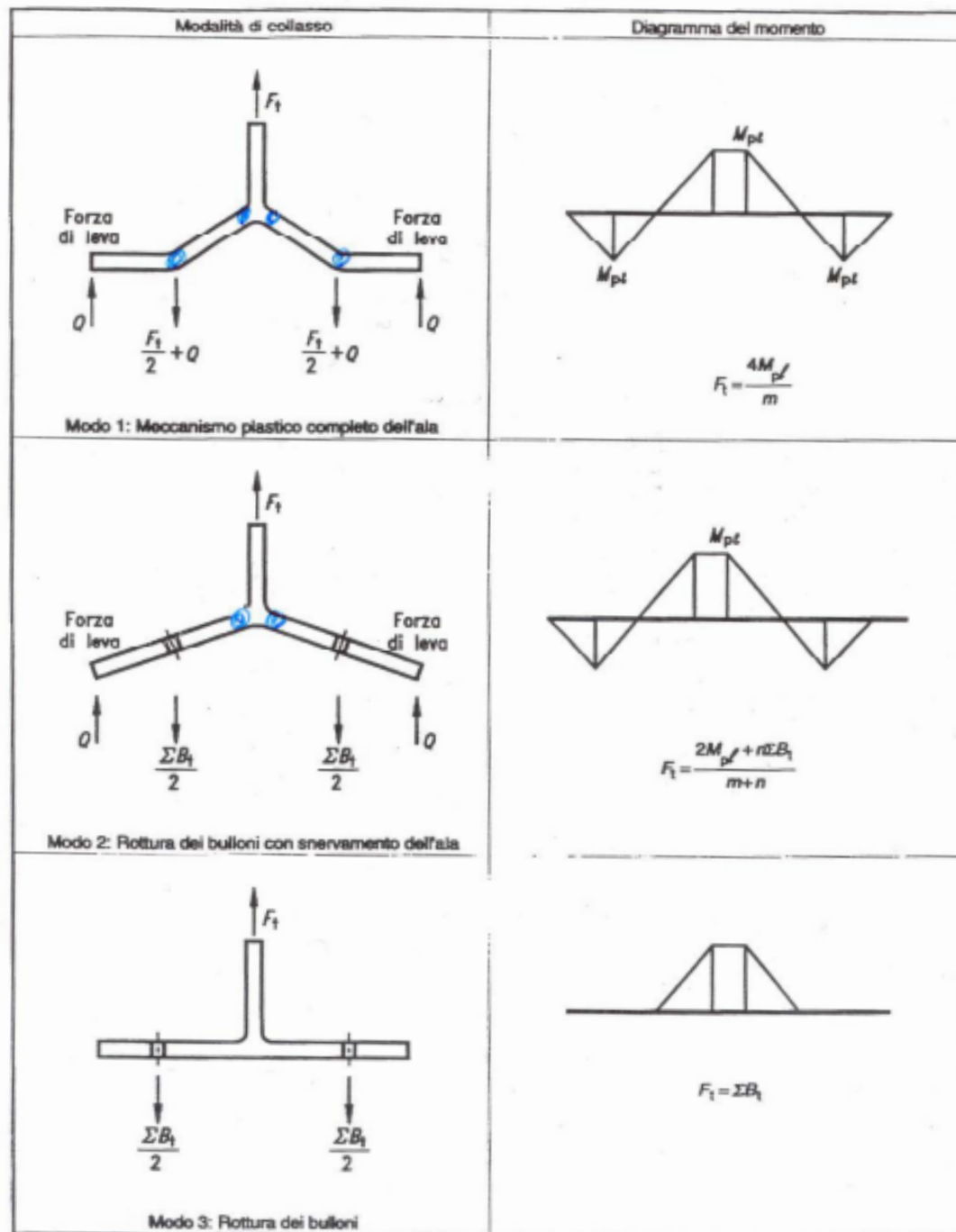
$$\beta = \frac{4M_{pl,Rd}}{e \cdot \sum B_{t,Rd}} \quad e \quad \lambda = \frac{e}{m}$$



- ☒ **Modo 1** : Meccanismo plastico completo ala (cerniera plastica)
- ☐ **Modo 2** : Rottura bulloni con snervamento ala
- ☐ **Modo 3** : Rottura bulloni



T-stub



UNI ENV 1993-1-1 pag.283

Fig. J 3.2 – Modalità di collasso di un elemento a T

- 1) Flessione delle ali
- 2) Combinato
- 3) Trazione nei bulloni

T-stub

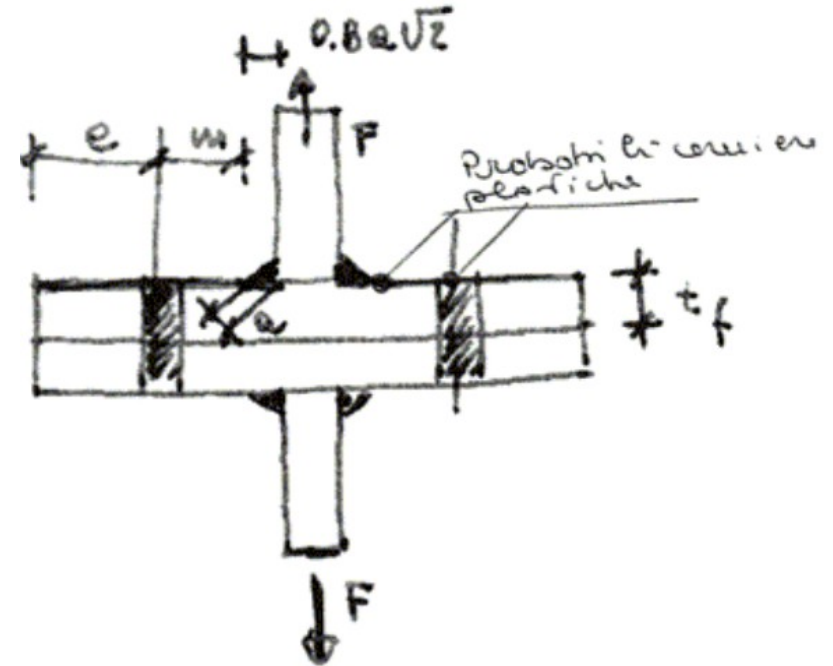
Resistenza zona di trazione

I meccanismi di tipo *t-stub* riguardano le seguenti zone in trazione:

- ala colonna
- flangia

L'ala della colonna (non irrigidita) può avere tre diversi tipi di meccanismi di collasso:

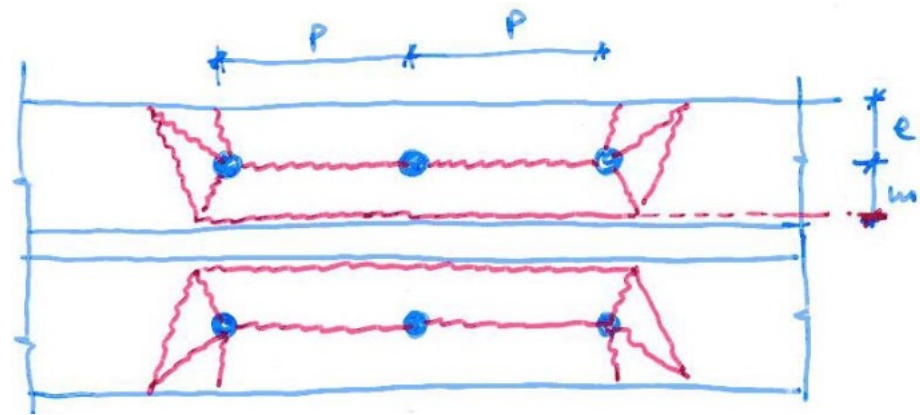
- a1) Meccanismo globale per il gruppo di bulloni
- a2) Meccanismi separati per ogni bullone
- a3) Meccanismi per imbutimento



T-stub

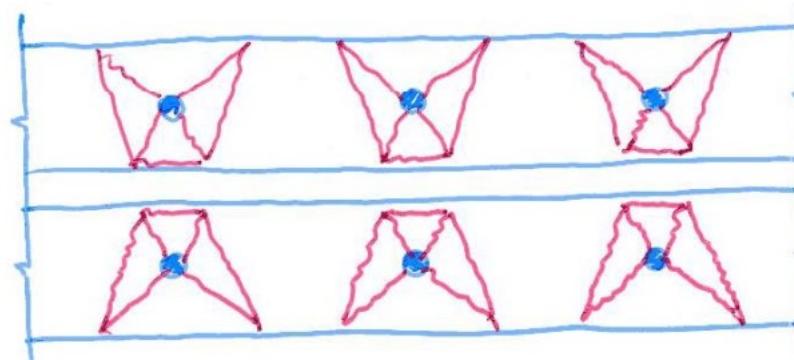
- a1) Meccanismo globale per il gruppo di bulloni

Meccanismo «effetto gruppo»



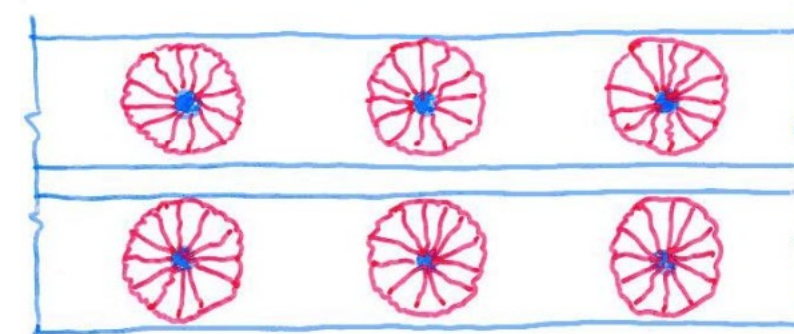
- a2) Meccanismi separati per ogni bullone

Meccanismo «non-circolare»



- a3) Meccanismi per imbutimento

Meccanismo «circolare»



T-stub

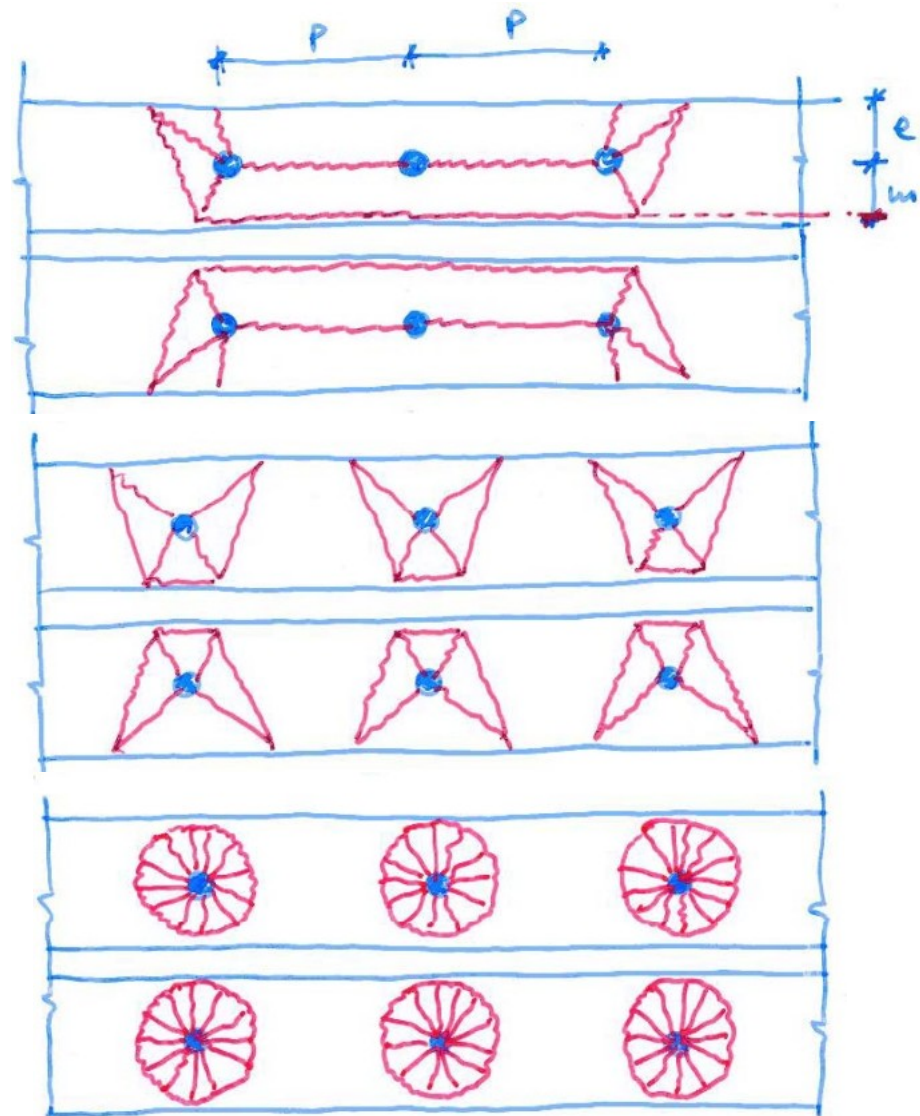
L'ala della colonna a trazione si deve considerare come una serie di t-stub con una lunghezza totale uguale alla lunghezza totale efficace Σl_{eff} . Per ogni riga di bulloni la l_{eff} deve essere la minore tra i tre meccanismi visti in precedenza.

Bulloni intermedi:

- $l_{eff} = p$ per il meccanismo **a1**;
- $l_{eff} = 4m + 1.25e$ per il meccanismo **a2**;
- $l_{eff} = 2\pi m$ per il meccanismo **a3**;

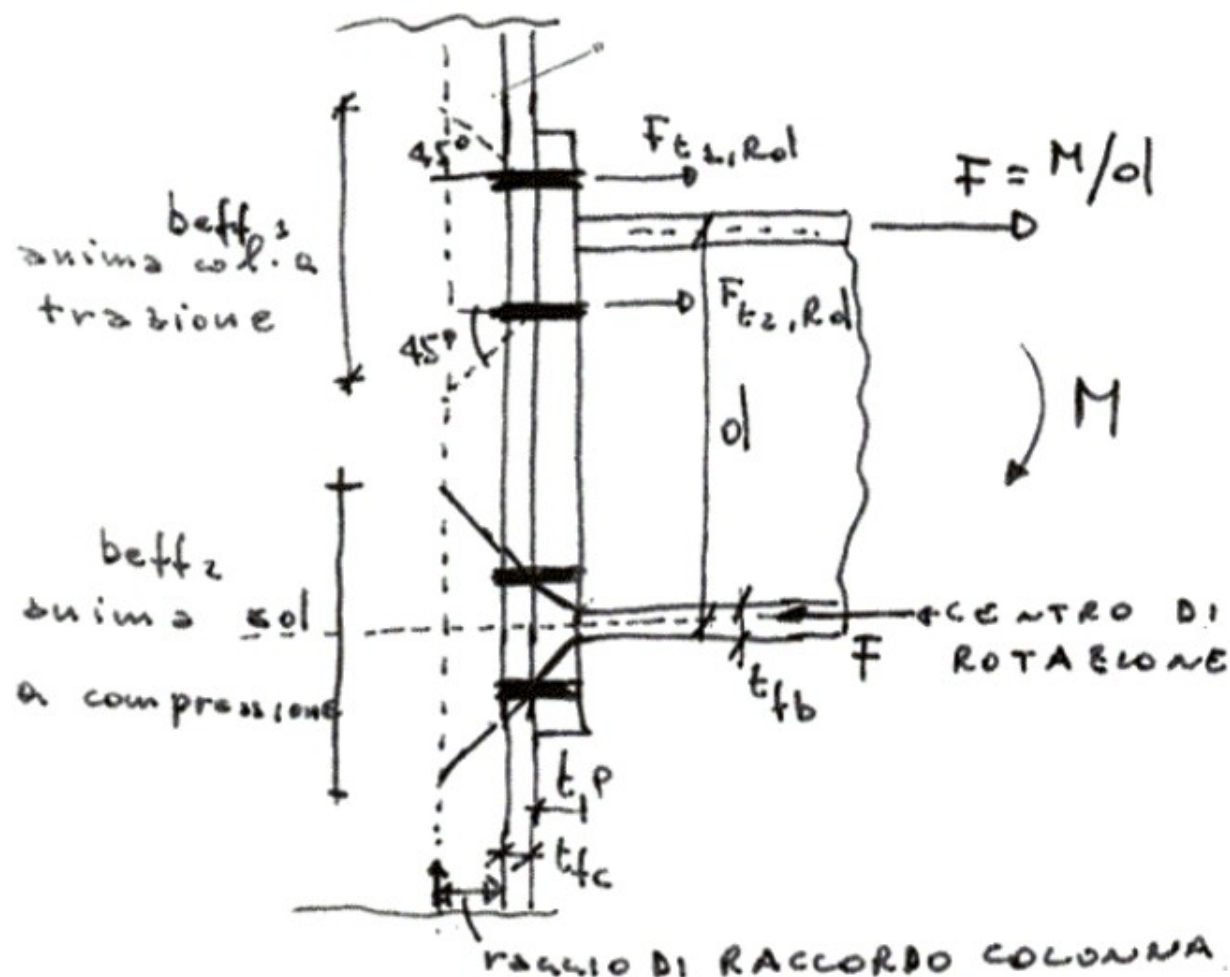
Bulloni di estremità:

- $l_{eff} = 0.5p + 2m + 0.625e$ per il meccanismo **a1**;
- $l_{eff} = 4m + 1.25e$ per il meccanismo **a2**;
- $l_{eff} = 2\pi m$ per il meccanismo **a3**;



Nota: il meccanismo di collasso e la resistenza massima di progetto devono essere determinate considerando tutte le file di bulloni nella zona di trazione come un unico gruppo che agisca tutto insieme in un singolo elemento *t-stub* equivalente

Esempio



Per quanto riguarda la $b_{eff,1}$ è possibile ipotizzare una diffusione a 45° oppure la somma della larghezza efficace dei due t-stub. Nella zona a compressione

$$b_{eff,2} = t_{fb} + 2t_p + 5(t_{fc} + r_c)$$

Risulta evidente che affinché entrambe le file siano efficaci non si deve avere un prematuro cedimento dell'anima della colonna:

- a trazione;
- a compressione;
- a taglio.

La bullonatura inferiore, oltre che collaborare a taglio, lavora allo stesso modo della bullonatura superiore nel caso di inversione del momento.

Esempio – Rigidezza alla rotazione

L'EC3 propone la seguente relazione per la rigidezza secante:

$$S_J = \frac{E \cdot h_1^2 \cdot t_{wc}}{\sum_i \frac{\mu_i}{k_i} \left[\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right]^2}$$

con h_1 distanza della prima riga di bulloni sotto l'ala tesa della trave dal centro di compressione.

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{per } i = 1, 2, 3 \\ h_1 \frac{F_{1,Rd}}{M_{Rd}} & \text{per } i = 4, 5, 6 \end{cases}$$

con:

F_i forza nel componente i dovuta al momento M con $M \leq M_{Rd}$

$F_{i,Rd}$ resistenza di progetto della componente i del collegamento

k_i coefficiente di rigidezza della componente i

molla 1 anima colonna a taglio $k_1 = 0.24$;

molla 2 anima colonna a trazione $k_2 = 0.8$;

molla 3 anima colonna a compressione $k_3 = 0.8$;

molla 4 ala colonna a trazione $k_4 = \frac{t_{f,c}^3}{4m^2 t_{wc}}$;

molla 5 bulloni a trazione $k_5 = \frac{2A_S}{l_b t_{wc}}$ con

A_S area a trazione bullone;

l_b lunghezza bullone (da metà spessore dado a metà spessore testa);

t_{wc} spessore anima colonna;

molla 6 flangia trave a trazione $k_6 = \frac{t_p^3}{12 \cdot \lambda_2 m^2 t_{wc}}$ con

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e} \text{ valido per flangia non estesa}$$

Nel caso di flangia estesa si deve assumere h_1 con riferimento alla fila di bulloni esterni, inoltre

$$k_6 = \frac{t_e^3}{4 \cdot m_x^2 t_{wc}}$$

Si può assumere che un collegamento bullonato con flangia di estremità sia un collegamento rigido se:

- La colonna ha irrigidimenti d'anima in zona tesa e compressa;
- Il momento resistente è determinato secondo l'approccio elastico (punto J.3.2).

In presenza di irrigidimenti d'anima si può porre:

$$k_2 = k_3 = \infty \quad k_4 = \frac{t_{fc}^3}{12 \cdot \lambda_2 m^2 t_{wc}}$$

e

$$k_4 > \frac{t_{fc}^3}{4 \cdot m^2 t_{wc}}$$