

APPENDICE B (normativa)

Norme di riferimento

B 1. Campo di applicazione

- (1) Questa parte 1.1 dell'Eurocodice 3 cita 10 norme di riferimento. Esse definiscono le norme di prodotto e di esecuzione relative alle strutture in acciaio, progettate in accordo con l'Eurocodice 3: parte 1.1.

B 2. Definizioni

B 2.1. Norma di riferimento 1: "Acciaio strutturale saldabile"

- (1) Norma europea EN 10025 "Prodotti laminati a caldo di acciai strutturali non legati - Condizioni tecniche per la fornitura". Solamente le qualità Fe 360, Fe 430 ed Fe 510.
- (2) Norma europea prEN 10113 "Prodotti laminati a caldo in acciai strutturali saldabili a grana fine". Solamente le qualità Fe E 275 e Fe E 355.
- (3) Per le qualità prEN 10113, Fe E 420 e Fe E 460 si faccia riferimento all'appendice D. ^{*)}
- (4) Norma europea prEN 10210-1 "Profili tubolari in acciaio finiti a caldo - Richieste tecniche di fornitura". ^{*)}
- (5) Norma europea prEN 10219-1 "Profili tubolari in acciaio piegati a freddo - Acciai non legati e a grana fine". ^{*)}
- (6) Ci si dovrà garantire che la saldabilità del materiale sia sufficiente per gli scopi per i quali è richiesta.
- (7) Per membrature in parete sottile e per lamiere piegate a freddo si faccia riferimento all'Eurocodice 3 prENV 1993-1-3: parte 1.3. ^{*)}

B 2.2. Norma di riferimento 2: "Dimensioni dei profili e delle piastre"

B 2.2.1. Profili lavorati a caldo, diversi dai tubolari strutturali

- (1) Le norme europee per i profili elencati nella EN 10025, sono state modificate nel modo seguente:
 - escludendo le tolleranze;
 - includendo le "norme nazionali corrispondenti" per i profili laminati a caldo elencati nell'appendice B della EN 10025 (ma escludendo le tolleranze).
- (2) Norma europea EN ... "Profilati a C laminati a caldo ad ali rastremate e ad ali parallele - Dimensioni e tolleranze". (Quando disponibile)
- (3) Norma europea EN... "Profilati a T laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze". (Quando disponibile)
- (4) Norma europea EN ... "Profilati a bulbo laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze". (Quando disponibile)
- (5) Norma europea EN... "Profilati laminati a caldo con sezioni ad I e ad H – Dimensioni". (Quando disponibile)
- (6) Norma europea EN ... "Profilati a T ricavati da profili ad I laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze". (Quando disponibile)
- (7) Norma europea EN ... "Angolari laminati a caldo a lati uguali ed a lati diversi – Dimensioni". (Quando disponibile)
- (8) ISO 657 "Profili di acciaio laminati a caldo":
 - parte 1: Angolari a lati uguali
 - parte 2: Angolari a lati diversi

^{*)} In preparazione

- (9) Norma europea EN ... “Barre di acciaio laminate a caldo, piatte, quadre e tonde - Dimensioni”. (Quando disponibile)
- (10) Norma europea EN ... “Barre di acciaio quadre laminate a caldo – Dimensioni”. (Quando disponibile)
- (11) Norma europea EN ... “Barre di acciaio tonde laminate a caldo – Dimensioni”. (Quando disponibile)

B 2.2.2. Profili strutturali laminati a caldo

- (1) Norma europea prEN 10210-2 “Profili di acciaio finiti a caldo - Dimensioni e tolleranze” (In preparazione)
- (2) ISO 657 “Profili di acciaio laminati a caldo”:
 - parte 14: Profili strutturali finiti a caldo, proprietà dimensionali e di sezione”, come segue:
 - fatta eccezione del fatto che l'acciaio deve essere EN 10025.

B 2.2.3. Profili strutturali finiti a freddo

- (1) Norma europea prEN 10219-2 “Profili strutturali di acciaio piegati a freddo - Dimensioni e tolleranze”. (In preparazione)
- (2) ISO 4019 “Profili strutturali di acciaio finiti a freddo - Dimensioni e proprietà delle sezioni”.

B 2.2.4. Profilati piegati a freddo, diversi dai tubolari strutturali

- (1) Per membrature a parete sottile e per lamiere piegate a freddo, si faccia riferimento all'Eurocodice 3, prENV 1993-1-3, parte 1.3. (In preparazione)

B 2.3. Tolleranza

B 2.3.1. Profilati laminati a caldo, diversi dai tubolari strutturali

- (1) Norma europea prEN 10034 “Profilati strutturali di acciaio ad I e ad H - Tolleranze sulla forma e sulle dimensioni”. (In preparazione)
- (2) Norma europea prEN 10056 “Angolari strutturali di acciaio a lati uguali ed a lati diversi - Tolleranze sulla forma e sulle dimensioni”. (In preparazione)
- (3) Norma europea EN ... “Profilati a C laminati a caldo ad ali rastremate e ad ali parallele - Dimensioni e tolleranze”. (Quando disponibile)
- (4) Norma europea EN ... “Profilati a T laminati a caldo - Dimensioni e tolleranza”. (Quando disponibile)
- (5) Norma europea EN... “Profili a bulbo laminati a caldo - Dimensioni e tolleranza”. (Quando disponibile)
- (6) Norma europea EN ... “Profili a T ricavati da profili ad I laminati a caldo - Dimensioni e tolleranze”. (Quando disponibile)
- (7) Norma europea EN ... “Barre quadrate di acciaio laminate a caldo – Tolleranze”. (Quando disponibile)
- (8) Norma europea EN... “Barre tonde di acciaio laminate a caldo – Tolleranze”. (Quando disponibile)

B 2.3.2. Profili strutturali

- (1) Norma europea prEN 10210-2 “Profili di acciaio finiti a caldo - Dimensioni e tolleranze”. (in preparazione)
- (2) Norma europea prEN 10219-2 “Profili strutturali in acciaio piegati a freddo - Dimensioni e tolleranze”. (In preparazione)

B 2.3.3. Profili formati a freddo, diversi dai tubolari strutturali

- (1) Per membrature a parete sottile e per lamiere piegate a freddo si faccia riferimento all'Eurocodice 3, prENV 1993-1-3. (In preparazione)

B 2.3.4. Piastre e barre piatte

- (1) Norma europea EN 10029 “Tolleranze sulle dimensioni, forma e massa per piastre di acciaio laminate a caldo, dello spessore di 3 mm o più”, come segue: Tolleranze per la classe A.
- (2) Norma europea EN ... “Requisiti di tolleranza per barre piatte ampie”. (Quando disponibile)
- (3) Norma europea EN... “Requisiti di tolleranza per barre piatte”. (Quando disponibile)

B 2.4. Norma di riferimento 3: “Bulloni, dadi e rosette”**B 2.4.1. Bulloni non pre-caricati**

- (1) Bulloni delle EN 24014, EN 24016, EN 24017 oppure EN 24018, dadi delle EN 24032, EN 24034 oppure della ISO 7413, rosette delle ISO 7089, ISO 7090 oppure ISO 7091.
- (2) Bulloni della ISO 7411, dadi della ISO 4775, rosette della ISO 7415 oppure ISO 7416.
- (3) Bulloni della ISO 7412, dadi della ISO 7414, rosette della ISO 7415 oppure ISO 7416.

B 2.4.2. Bulloni pre-caricati

- (1) Bulloni della ISO 7411, dadi della ISO 4775, rosette della ISO 7415 oppure ISO 7416.

B 2.5. Norma di riferimento 4: “Elettrodi”

- (1) Norma europea EN ... “Elettrodi”. (Quando disponibile)

B 2.6. Norma di riferimento 5: “Chiodi”

- (1) Norma europea EN... “Chiodi strutturali in acciaio”. (Quando disponibile)

B 2.7. Norme di riferimento da 6 a 9: “Norme per l’esecuzione”

- (1) Norma europea EN ../1 “Esecuzione di strutture di acciaio - Regole generali e regole per gli edifici”. (In preparazione)

B 2.8. Norma di riferimento 10: “Protezione dalla corrosione”

- (1) Norma europea EN... “Protezione dalla corrosione”. (Quando disponibile)

APPENDICE C (informativa)

Progettazione contro la rottura fragile

C 1. Resistenza alla rottura fragile

- (1) La rottura fragile è caratterizzata dal collasso di un elemento strutturale senza deformazione plastica. Le modalità di collasso dipendono essenzialmente da quanto segue:
 - classe di resistenza dell'acciaio;
 - spessore del materiale;
 - velocità di applicazione del carico;
 - minima temperatura di esercizio;
 - tenacità del materiale;
 - tipo dell'elemento strutturale.
- (2) Considerando i fattori elencati qui sopra, si può determinare il grado richiesto per l'acciaio. La scelta dipende dalla tenacità del materiale e dalle esigenze in termini di meccanica di frattura. Il criterio viene espresso in funzione della temperatura di prova alla quale è garantito un valore minimo di energia di 27 J in una prova Charpy con intaglio a V.
- (3) Il metodo che segue determina la temperatura minima di esercizio, per qualità e spessore dell'acciaio, dati in funzione delle condizioni di esercizio, della velocità di carico e delle conseguenze del collasso.
- (4) In questo metodo, le qualità dell'acciaio fanno riferimento a materiale conforme alla EN 10025 oppure al prEN 10113.
- P(5) Il metodo presentato in questa appendice non deve essere applicato per temperature di servizio minori di - 40 °C.

C 2. Metodi di calcolo

C 2.1. Condizioni di esercizio

- (1) Vengono definiti tre livelli di severità, in cui i relativi livelli di tensione sono calcolati usando i valori caratteristici delle azioni ed un coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_F = 1,0$ nel modo seguente:
 - S1:
 - nessuna saldatura; oppure
 - allo stato come saldato, con tensioni locali di trazione che non superino 0,2 volte la tensione di snervamento; oppure
 - trattamento termico di distensione delle tensioni residue, dopo la saldatura, con tensioni locali di trazione (incluso un qualsiasi effetto di concentrazione geometrica delle tensioni) che non superino 0,67 volte la resistenza allo snervamento.
 - S2: Saldature:
 - o allo stato come saldato, con tensioni locali di trazione nel campo da 0,2 a 0,67 volte la resistenza allo snervamento; oppure
 - con trattamento termico di distensione e con tensioni locali fino al doppio della resistenza allo snervamento per effetto di concentrazioni di sforzo.
 - S3: Zone di concentrazione delle tensioni per geometria complessa:
 - o allo stato come saldato, con sforzi locali di tensione nel campo da 0,67 a 2 volte la resistenza allo snervamento; oppure
 - trattate termicamente dopo la saldatura, con tensioni locali nel campo da 2 a 3 volte la resistenza allo snervamento.

ma in tutti i casi al di sotto del collasso plastico.
- (2) Il prospetto 3.2 è relativo ai livelli di tensione S1 ed S2.

C 2.2. Velocità di carico

- (1) Vengono definite due velocità di carico nel modo seguente:
 - R1: Carico statico normale o variabile lentamente, applicabile a strutture soggette a peso proprio, ai carichi di impalcato, al carico dovuto a veicoli, al carico di vento e di onde e carichi di sollevamento.
 - R2: Carichi di impatto, applicabili ad alte velocità di deformazione, condizioni di esplosione o di urto.
- (2) Il prospetto 3.2 si basa sulla velocità di carico R1.

C 2.3. Conseguenze del collasso

- (1) Vengono definite nel modo seguente due condizioni:
 - C1: Elementi o giunti non critici, dove il collasso sarebbe limitato ad effetti locali senza conseguenze serie (per esempio: elementi ridondanti).
 - C2: Frattura di elementi o giunti critici, dove il collasso locale causerebbe il collasso dell'intera struttura con serie conseguenze per la vita oppure costi molto elevati.
- (2) Il prospetto 3.2 si basa sulla condizione C2.

C 2.4. Resistenza nominale allo snervamento

- (1) Il valore nominale f_{yl} della resistenza inferiore allo snervamento diminuisce con lo spessore e può essere ottenuto dalla seguente equazione:

$$f_{yl} = f_{y0} - 0,25 \left(\frac{t}{t_1} \right) \left(\frac{f_{y0}}{235} \right) \quad [C1]$$

dove:

f_{y0} è il valore base di f_{yl} (in N/mm²);

t è lo spessore (in mm);

t_1 = 1 mm.

- (2) Si può determinare il valore base f_{y0} della resistenza media inferiore allo snervamento (da usarsi solo nell'appendice C) usando il prospetto C 1.

Prospetto C 1 - Valore base della resistenza allo snervamento media inferiore

Classe dell'acciaio	Fe 360	Fe 430	Fe 510
f_{y0} (in N/mm ²)	235	275	355

C 2.5. Parametri

- (1) Si potranno ottenere dal prospetto C 2 i valori delle costanti che devono essere adottati per le categorie S, R e C.
- (2) Nel prospetto C 3 sono dati i valori della temperatura T_{CV} della prova di resilienza Charpy V per acciai di qualità standard secondo EN 10025.
- (3) Nel prospetto C 3 sono pure dati i valori della temperatura T_{CV} per acciaio secondo prEN 10113.

Prospetto C 2 - Valori delle costanti

Categoria dello sforzo	S1	S2	S3
k_a	0,18	0,18	0,10
k_b	0,40	0,15	0,07
k_c	0,03	0,03	0,04
Velocità di carico	R1	R2	
Valore di k_d	10^{-3}	1,0	
Conseguenze del collasso	C1	C2	
Valore di γ_C	1,0	1,5	

Prospetto C 3 - Temperatura T_{CV} della prova di resilienza Charpy V

Grado di tenacità	Valori specificati			Valore nominale di T_{CV} alla quale si può supporre di ottenere 27 J allo spessore t (mm)	
	Temperatura di prova	Energia minima (J) per lo spessore t (mm)		$\leq 150^{(1)}$	$>150 \leq 250^{(1)}$
		$> 10 \geq 150^{(1)}$	$> 150 \leq 250^{(1)}$		
EN 10025:					
B	+20	27	23	+20	+25
C	0	27	23	+0	+5
D	-20	27	23	-20	-15
DD	-20	40	33	-30 ⁽²⁾	-25 ⁽²⁾
prEN 10113 :					
KG	-20	40	33	-30 ⁽²⁾	-25 ⁽²⁾
KT	-50	27	23	-50	-45

Note:

1. Il valore deve essere concordato con il produttore dell'acciaio per prodotti laminati in accordo alla EN 10025 per uno spessore nominale maggiore di 100 mm; per prodotti di acciaio nella condizione di fornitura N di spessore maggiore di 150 mm secondo prEn 10113-2; per prodotti di acciaio nelle condizioni di fornitura TM di spessore maggiore > 150 mm per i profilati e maggiore di 63 mm per le lamiere.
2. Si suppone che questi valori siano equivalenti ad un'energia assorbita in prova di resilienza Charpy con intaglio a V, di 40 J a -20°C , o di 33 J a -20°C per acciaio con spessore di 150 mm, fino a 250 mm.

C 2.6. Calcoli

- (1) Il fattore critico di intensificazione delle tensioni K_{1C} , convenzionale, da richiedere è dato dalla equazione:

$$K_{1C} = (\gamma_C \alpha)^{0,55} \frac{f_{yl} \sqrt{t}}{1,226} \quad [C 2]$$

nella quale:

$$\alpha = \frac{1}{\left[k_a + k_b \ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + k_c \sqrt{\frac{t}{t_1}} \right]}$$

- (2) Si otterrà la minima temperatura di servizio T_{min} dalla equazione:

$$T_{min} = 1,4 T_{CV} + 25 + \beta + (83 - 0,08 f_{yl}) [k_d]^{0,17} \quad [C 3]$$

nella quale:

$$\beta = 100 (\ln K_{1C} - 8,06)$$

APPENDICE E (informativa)

Lunghezza di libera inflessione per una membratura compressa

E 1. Principi

- (1) La lunghezza di libera inflessione ℓ di una membratura compressa è la lunghezza di una membratura, per il resto ad essa eguale, con “estremi incernierati” (gli estremi sono vincolati contro i movimenti laterali ma liberi di ruotare nel piano di libera inflessione) che ha la stessa resistenza al carico di punta.
- (2) In assenza di più accurate valutazioni, la lunghezza teorica di libera inflessione per instabilità critica elastica può venire adottata conservativamente.
- (3) Si può usare una lunghezza di libera inflessione equivalente per riferire la resistenza alla instabilità di una membratura, soggetta ad un carico non uniforme, a quella di una membratura, per il resto analoga, soggetta a carico uniforme.
- (4) Si può usare una lunghezza di libera inflessione equivalente per riferire la resistenza alla instabilità di una membratura non uniforme a quella di una membratura uniforme sotto condizioni analoghe di carico e di vincolo.

E 2. Colonne di telai di edifici

- (1) Dalla fig. E 2.1 si può ottenere la lunghezza di libera inflessione ℓ di una colonna nel modo a nodi fissi.
- (2) Dalla fig. E 2.2 si può ottenere la lunghezza di libera inflessione ℓ di una colonna nel modo a nodi spostabili.
- (3) I coefficienti di distribuzione η_1 e η_2 per i modelli teorici mostrati nella fig. E 2.3 vengono ottenuti da:

$$\eta_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{11} + K_{12}} \quad [E\ 1]$$

$$\eta_2 = \frac{K_c}{K_c + K_{21} + K_{22}} \quad [E\ 2]$$

dove:

K_c è il coefficiente I/L di rigidezza della colonna;
e K_{ij} è il coefficiente di rigidezza efficace della trave.

- (4) Questi modelli possono venire adattati alla progettazione di colonne continue, quando si supponga che ciascun interpiano di colonna sia caricato con il medesimo valore del rapporto (N/N_{cr}) . Nel caso generale nel quale (N/N_{cr}) varia, questo fatto porta ad un valore conservativo di ℓ/L per la lunghezza di colonna più critica.
- (5) Per ciascun interpiano di una colonna continua, si può introdurre l'ipotesi fatta in (4), usando il modello mostrato nella fig. E 2.4 ed ottenendo i coefficienti di distribuzione η_1 e η_2 dalle equazioni:

$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}} \quad [E\ 3]$$

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}} \quad [E\ 4]$$

dove:

K_1 e K_2 sono i coefficienti di rigidezza per gli interpiani adiacenti alla colonna.

- (6) Quando le travi non sono soggette a forze assiali, si possono determinare i loro coefficienti di rigidezza efficace facendo riferimento al prospetto E 1, purché esse rimangano elastiche sotto i momenti di progetto.

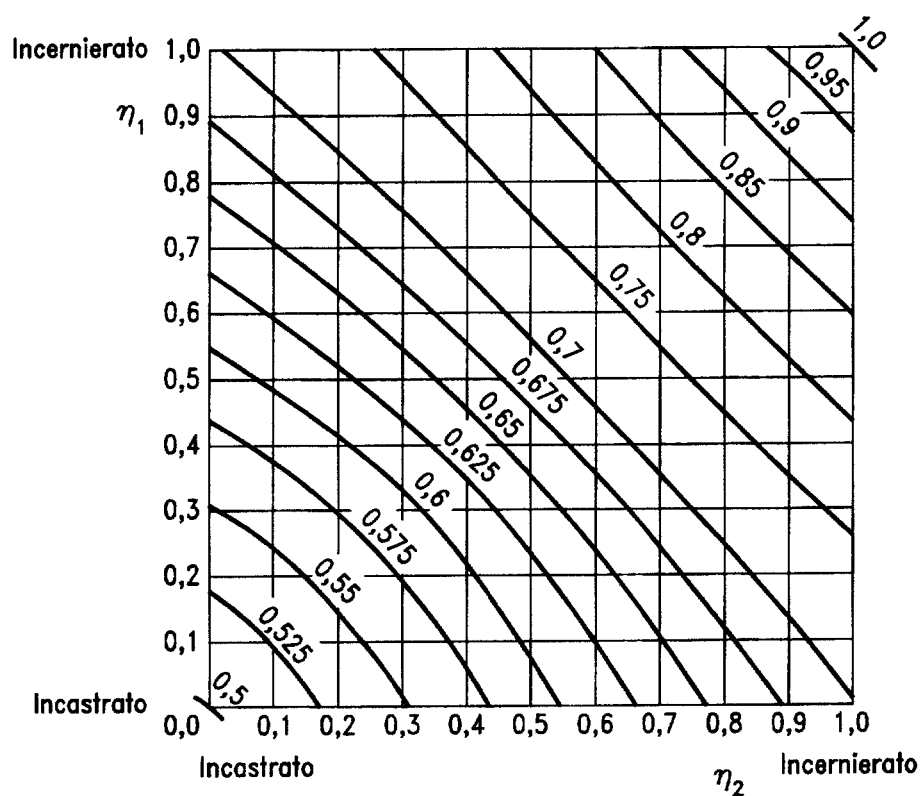


Fig. E 2.1 - Rapporto di lunghezza di libera inflessione ℓ/L per una colonna nel modo a nodi fissi

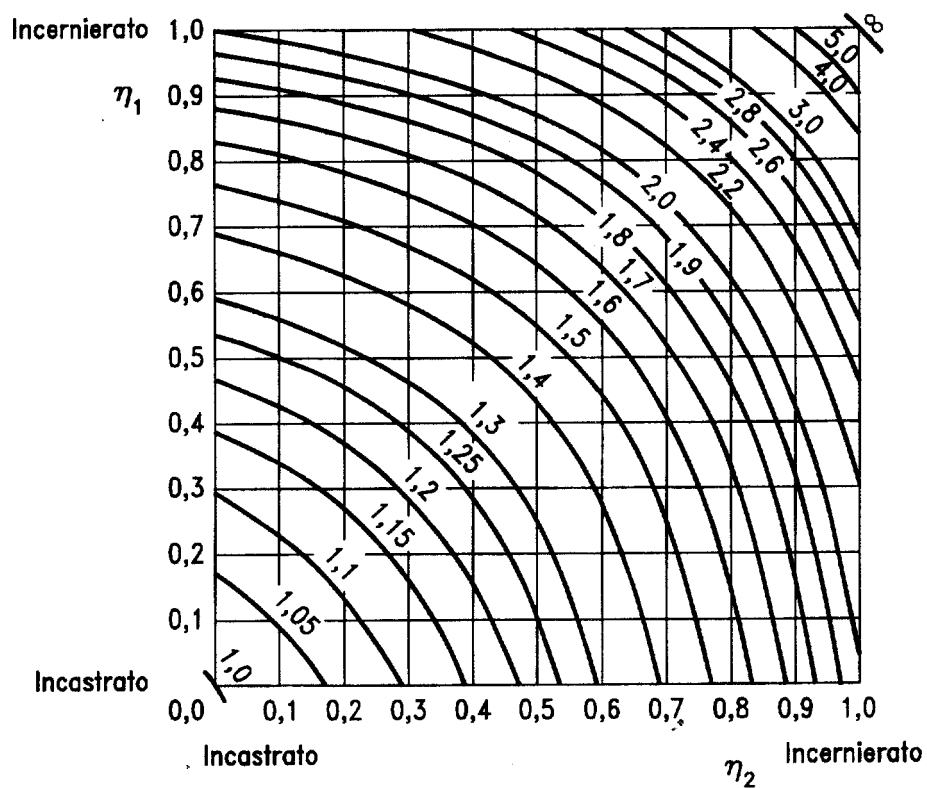
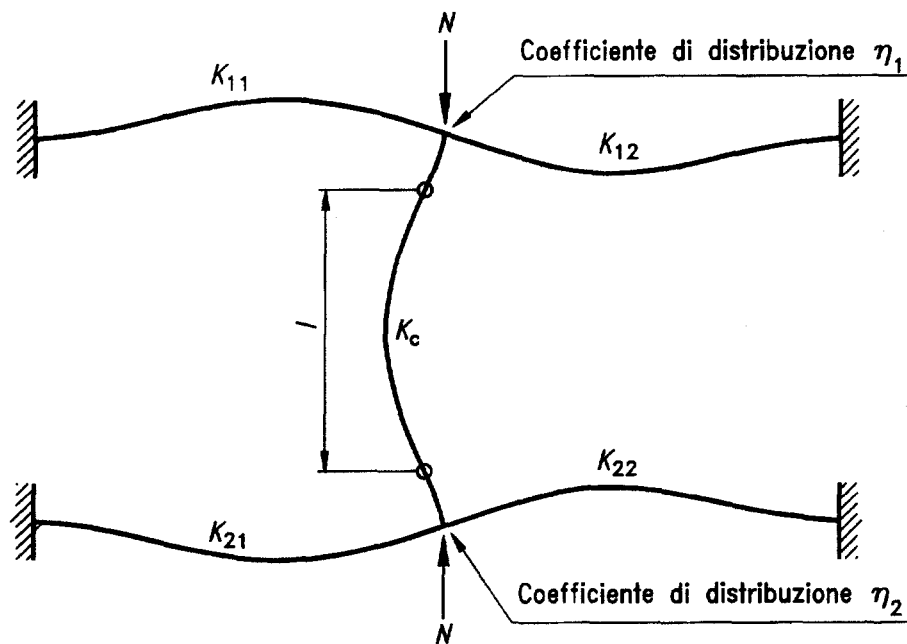
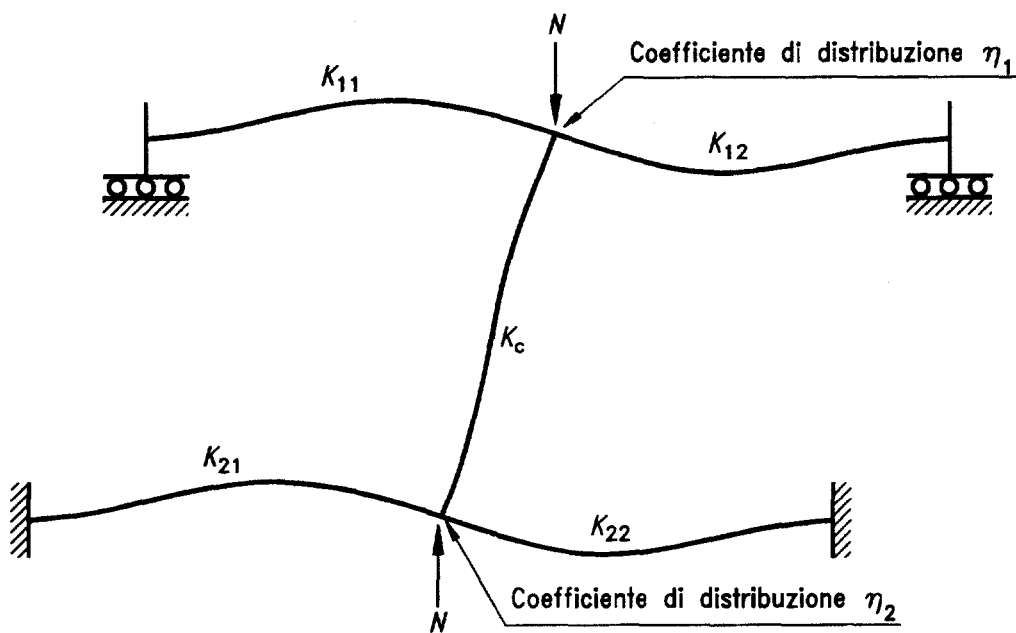


Fig. E 2.2 - Rapporto di lunghezza di libera inflessione ℓ/L per una colonna nel modo a nodi spostabili



(a) Modo a nodi fissi



(b) Modo a nodi spostabili

Fig. E 2.3 - Coefficienti di distribuzione per colonne

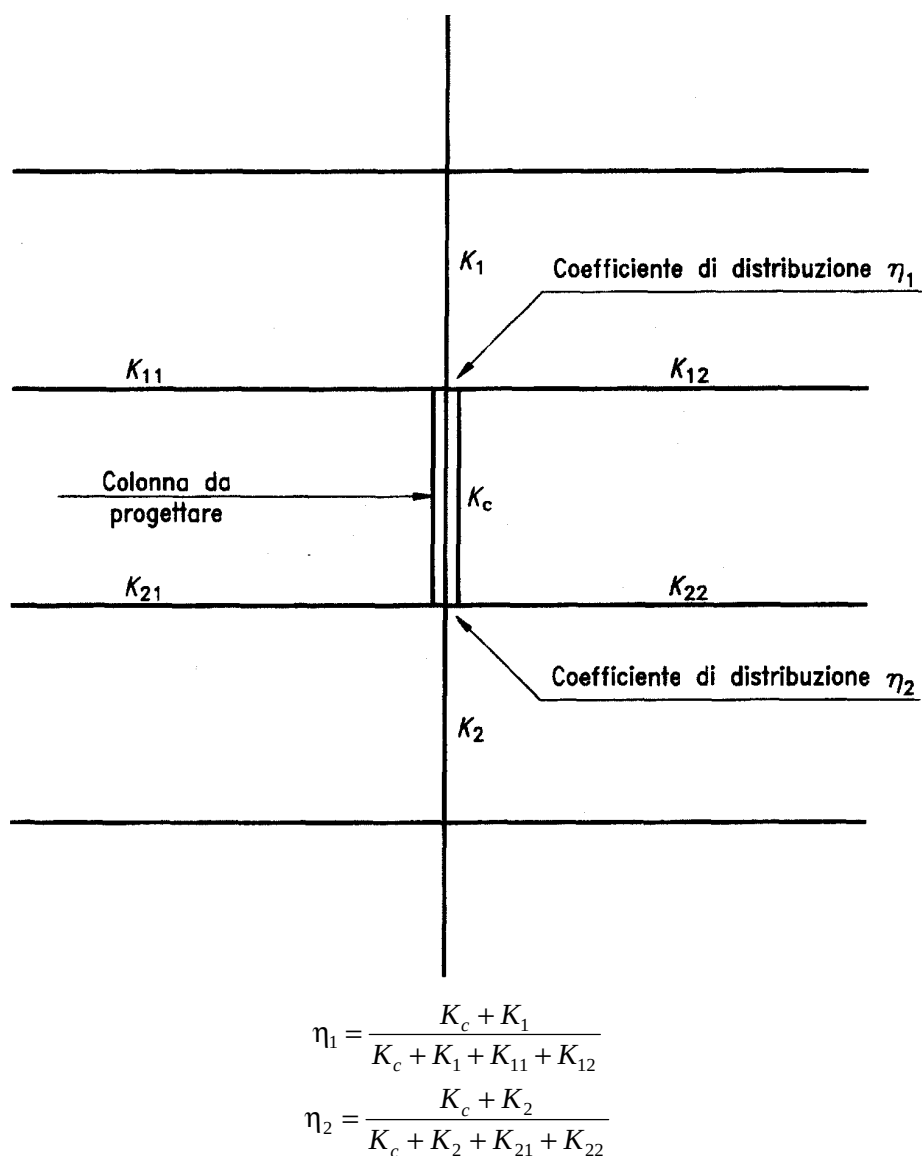


Fig. E 2.4 - Coefficienti di distribuzione per colonne continue

Prospetto E 1 - Coefficiente di rigidezza efficace per una trave

Condizioni di vincolo rotazionale all'estremo lontano della trave	Coefficiente di rigidezza efficace K della trave (a condizione che la trave resti elastica)
Incastrato all'estremo lontano	1,0 I/L
Incernierato all'estremo lontano	0,75 I/L
Rotazione uguale all'estremo vicino (doppia curvatura)	1,5 I/L
Rotazione uguale ed opposta a quella dell'estremo vicino (curvatura singola)	0,5 I/L
Caso generale: Rotazione θ_a all'estremo vicino e θ_b all'estremo lontano	$\left(1 + 0,5 \frac{\theta_b}{\theta_a}\right) \frac{I}{L}$

- (7) Per telai di edifici con solai in calcestruzzo, purché il telaio abbia schema regolare ed il carico sia uniforme, di solito è abbastanza accurato supporre che i coefficienti di rigidezza efficace della trave siano quelli che figurano nel prospetto E 2.

Prospetto E 2 - Coefficiente di rigidezza efficace K per una trave in un telaio di edificio con solai di calcestruzzo

Condizioni di carico per la trave	Modo a nodi fissi	Modo a nodi spostabili
Travi che sostengono direttamente i solai di calcestruzzo	1,0 I/L	1,0 I/L
Altre travi con carichi diretti	0,75 I/L	1,0 I/L
Travi aventi solo momenti d'estremità	0,5 I/L	1,5 I/L

- P(8) Qualora, per lo stesso caso di carico, il momento di progetto in una qualsiasi delle travi supera $W_{el} f_y / \gamma_{M0}$ si raccomanda che la trave sia considerata incernierata in quel punto o in quei punti.
- P(9) Qualora una trave ha collegamenti nominalmente incernierati, si raccomanda che essa sia considerata incernierata in quel punto o in quei punti.
- P(10) Qualora una trave ha collegamenti semirigidi, si raccomanda di ridurre di conseguenza il coefficiente di rigidezza efficace.
- P(11) Qualora le travi sono soggette a forze assiali, si raccomanda di adeguare di conseguenza i loro coefficienti di rigidezza efficace. Si possono usare funzioni di stabilità. Come semplice alternativa, si può trascurare l'aumento del coefficiente di rigidezza, causato dalla trazione assiale, e si possono considerare gli effetti della compressione assiale, usando le approssimazioni conservative date nel prospetto E 3.

Prospetto E 3 - Formule approssimate per i coefficienti di rigidezza ridotta di una trave per compressione assiale

Condizioni di vincolo rotazionale all'estremo lontano della trave	Coefficiente di rigidezza efficace K della trave (purché la trave resti elastica)
Incastrata	$1,0 \frac{I}{L} \left(1 - 0,4 \frac{N}{N_E} \right)$
Incarnierata	$0,75 \frac{I}{L} \left(1 - 1,0 \frac{N}{N_E} \right)$
Rotazione uguale all'estremo vicino (doppia curvatura)	$1,5 \frac{I}{L} \left(1 - 0,2 \frac{N}{N_E} \right)$
Rotazione uguale ed opposta a quella dell'estremo vicino (curvatura singola)	$0,5 \frac{I}{L} \left(1 - 1,0 \frac{N}{N_E} \right)$
In questo prospetto $N_E = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$	

- P(12) Invece di leggere i valori nelle fig. E 2.1 ed E 2.2 si possono usare come approssimazioni conservative le equazioni empiriche che seguono:

- (a) modo a nodi fissi (fig. E 2.1)

$$\frac{I}{L} = 0,5 + 0,14 (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 (\eta_1 + \eta_2)^2 \quad [E 5]$$

oppure, in alternativa:

$$\frac{I}{L} = \sqrt{\frac{1 + 0,145 (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \eta_1 \eta_2}{2 - 0,364 (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \eta_1 \eta_2}} \quad [E 6]$$

- (b) modo a nodi spostabili (fig. E 2.2)

$$\frac{I}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \eta_1 \eta_2}{1 - 0,8 (\eta_1 + \eta_2) - 0,6 \eta_1 \eta_2}} \quad [E 7]$$

APPENDICE F (informativa)

Instabilità flessione-torsionale

F 1. Momento elastico critico

F 1.1. Principi

- (1) Il momento critico elastico per instabilità flessione-torsionale di una trave, avente sezione trasversale simmetrica uniforme con ali uguali, sotto condizioni normali di vincolo a ciascun estremo, caricata attraverso il suo centro di taglio e soggetta ad un momento uniforme, è dato dalla seguente equazione:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 EI_z}} \quad [F 1]$$

dove: $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

I_t è la costante di torsione;

I_w è la costante di ingobbamento,

I_z è il momento di inerzia attorno all'asse minore;

L è la lunghezza della trave fra i punti che hanno vincolo laterale.

- (2) Le condizioni normali di vincolo a ciascun estremo sono:
- vincolo al movimento laterale;
 - vincolo alla rotazione intorno all'asse longitudinale;
 - libero di ruotare nel piano.

F 1.2. Formula generale per sezioni trasversali simmetriche rispetto all'asse minore

- (1) Nel caso di una trave avente sezione trasversale uniforme simmetrica rispetto all'asse minore, per flessione rispetto all'asse maggiore, il momento critico elastico per instabilità flessione-torsionale è dato dalla equazione generale:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 EI_z}} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\} \quad [F 2]$$

dove:

C_1, C_2 e C_3 sono i coefficienti che dipendono dalle condizioni di carico e di vincolo all'estremo;

k e k_w sono i coefficienti di lunghezza efficace;

$$z_g = z_a - z_s$$

$$z_j = z_s - 0,5 \frac{\int (y^2 + z^2) z dA}{I_y}$$

z_a è la coordinata del punto dove viene applicato il carico;

z_s è la coordinata del centro di taglio.

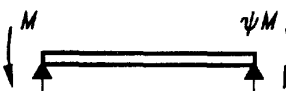
Nota - Vedere F 1.2(7) e (8) per le convenzioni sui segni e F 1.4(2) per le approssimazioni di z_j .

- (2) I coefficienti di lunghezza efficace k e k_w variano da 0,5 per incastro completo a 1,0 quando non vi è incastro, con 0,7 quando vi è un estremo incastrato ed un estremo libero.
- P(3) Il coefficiente k si riferisce alla rotazione di un estremo nel piano. Esso è analogo al rapporto ℓ/L di una membratura compressa.
- P(4) Il coefficiente k_w si riferisce all'ingobbamento di un estremo. Se non si è posto un vincolo apposito per l'ingobbamento, si raccomanda di prendere k_w uguale a 1,0.

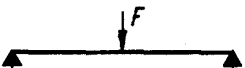
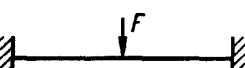
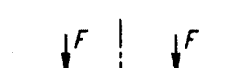
- (5) Nei prospetti F 1.1 ed F 1.2 sono dati i valori di C_1 , C_2 e C_3 per vari casi di carico, quali vengono indicati dalla forma del diagramma del momento flettente sulla lunghezza L fra i vincoli laterali. I valori sono dati in corrispondenza ai differenti valori di k .
- P(6) Per i casi con $k = 1,0$, il valore di C_1 per un qualsiasi rapporto di momento agli estremi, come indicato nel prospetto F 1.1, è dato approssimativamente dall'equazione:

$$C_1 = 1,88 - 1,40 \psi + 0,52 \psi^2 \quad \text{con } C_1 \leq 2,70 \quad [F 3]$$

Prospetto F 1.1 - Valori dei coefficienti C_1 , C_2 e C_3 corrispondenti ai valori del coefficiente k :
momento all'estremità

Condizioni di carico e di vincolo	Diagramma del momento flettente	Valori di k	Valori dei coefficienti		
			C_1	C_2	C_3
	$\psi = +1$	1,0	1,000		1,000
		0,7	1,000	-	1,113
		0,5	1,000		1,144
	$\psi = +3/4$	1,0	1,141		0,998
		0,7	1,270	-	1,565
		0,5	1,305		2,283
	$\psi = +1/2$	1,0	1,323		0,992
		0,7	1,473	-	1,556
		0,5	1,514		2,271
	$\psi = +1/4$	1,0	1,563		0,977
		0,7	1,739	-	1,531
		0,5	1,788		2,235
	$\psi = 0$	1,0	1,879		0,939
		0,7	2,092	-	1,473
		0,5	2,150		2,150
	$\psi = -1/4$	1,0	2,281		0,855
		0,7	2,538	-	1,340
		0,5	2,609		1,957
	$\psi = -1/2$	1,0	2,704		0,676
		0,7	3,009	-	1,059
		0,5	3,093		1,546
	$\psi = -3/4$	1,0	2,927		0,366
		0,7	3,009	-	0,575
		0,5	3,093		0,837
	$\psi = -1$	1,0	2,752		0,000
		0,7	3,063	-	0,000
		0,5	3,149		0,000

Prospetto F 1.2 - Valori dei coefficienti C_1 , C_2 e C_3 corrispondenti ai valori del coefficiente k : casi di carico trasversale

Condizioni di carico e di vincolo	Diagramma del momento flettente	Valori di k	Valori dei coefficienti		
			C_1	C_2	C_3
		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,972	0,304	0,980
		1,0	1,285	1,562	0,753
		0,5	0,712	0,652	1,070
		1,0	1,365	0,553	1,730
		0,5	1,070	0,432	3,050
		1,0	1,565	1,267	2,640
		0,5	0,938	0,715	4,800
		1,0	1,046	0,430	1,120
		0,5	1,010	0,410	1,890

- (7) La convenzione sui segni per determinare z_j , vedere fig. F 1.1, è la seguente:
- z_j , è positivo per l'ala in compressione;
 - z_j , è positivo quando l'ala con il valore maggiore di I_z è in compressione al punto di momento massimo.
- (8) La convenzione sui segni per determinare z_g è la seguente:
- per carichi di gravità, z_g è positivo per carichi applicati al di sopra del centro di taglio;
 - nel caso generale, z_g è positivo per carichi che agiscono dal loro punto di applicazione verso il centro di taglio.

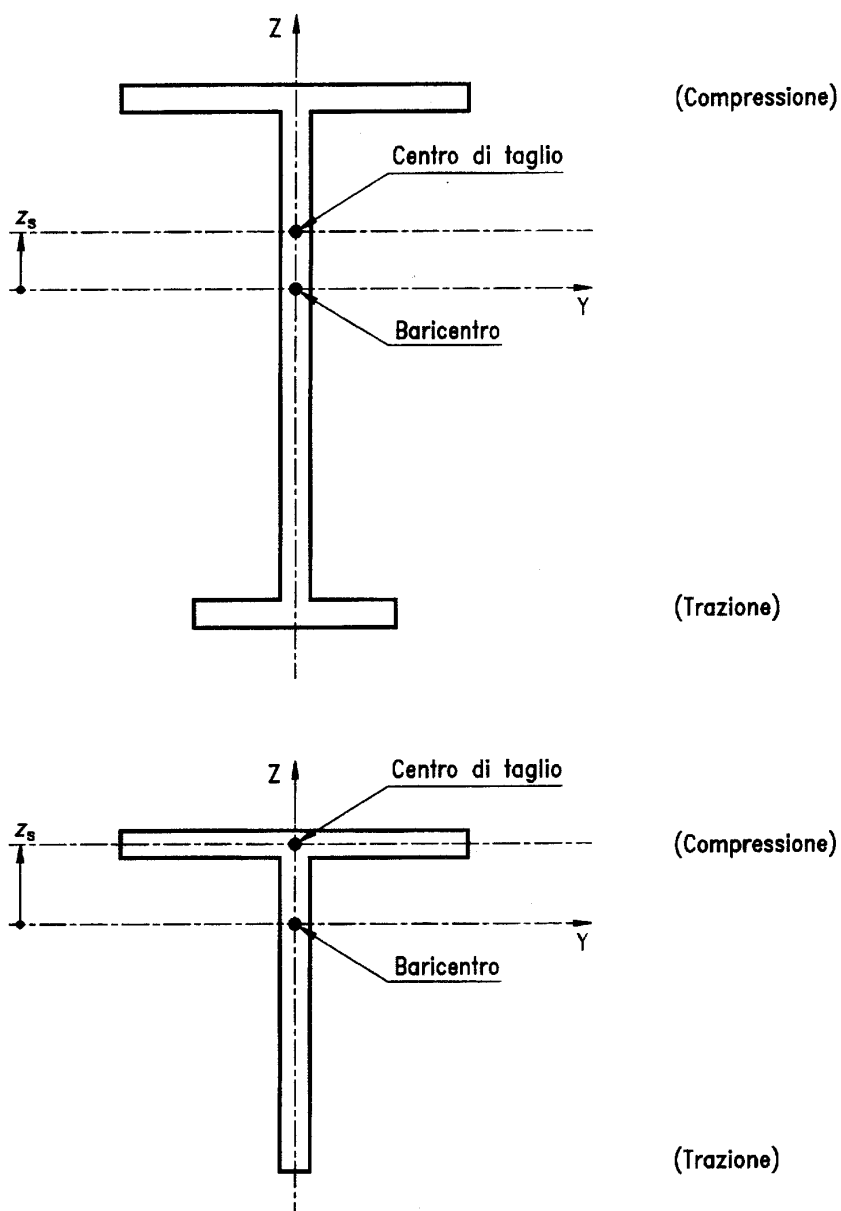
F 1.3. Travi con sezioni trasversali uniformi doppiamente simmetriche

- (1) Per sezioni trasversali doppiamente simmetriche è $z_j = 0$, cosicché:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} + (C_2 z_g)^2 - C_2 z_g \right\} \quad [F 4]$$

- (2) Per la condizione di carico di momento agli estremi è $C_2 = 0$ e per carichi trasversali applicati nel centro di taglio è $z_g = 0$. Per questi casi:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} \quad [F 5]$$

Fig. F 1.1 - Convenzione sui segni per determinare z_j

- (3) Quando è $k = k_w = 1,0$ (nessun incastro agli estremi):

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} \quad [F 6]$$

F 1.4. Travi con sezioni trasversali uniformi con un solo asse di simmetria ed ali diverse

- (1) Per una sezione ad I con ali diverse:

$$I_w = \beta_f (1 - \beta_f) I_z h_s^2 \quad [F 7]$$

dove:

$$\beta_f = \frac{I_{fc}}{I_{fc} + I_{ft}}$$

I_{fc} è il momento di inerzia dell'ala in compressione rispetto all'asse minore della sezione;

I_{ft} è il momento di inerzia dell'ala in trazione rispetto all'asse minore della sezione;

h_s è la distanza fra i centri di taglio delle ali.

- P(2) Per z_j si possono usare le seguenti equazioni approssimate:

quando $\beta_f > 0,5$:

$$z_j = 0,8 (2 \beta_f - 1) \frac{h_s}{2} \quad [\text{F } 8]$$

quando $\beta_f < 0,5$:

$$z_j = 1,0 (2 \beta_f - 1) \frac{h_s}{2} \quad [\text{F } 9]$$

per sezioni con l'ala compressa con bordi irrigiditi:

$$z_j = 0,8 (2 \beta_f - 1) \left(1 + \frac{h_L}{h} \right) \frac{h_s}{2} \quad \text{quando } \beta_f > 0,5 \quad [\text{F } 10]$$

$$z_j = 1,0 (2 \beta_f - 1) \left(1 + \frac{h_L}{h} \right) \frac{h_s}{2} \quad \text{quando } \beta_f < 0,5 \quad [\text{F } 11]$$

dove:

h_L è l'altezza dell'irrigidimento.

F 2. Snellezza

F 2.1. Generalità

- (1) Il rapporto di snellezza $\bar{\lambda}_{LT}$ per instabilità flesso-torsionale è dato da:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} \quad [\text{F } 12]$$

dove:

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ in N/mm}^2)$$

$$\beta_w = 1 \quad \text{per sezioni trasversali di classe 1 o classe 2;}$$

$$\beta_w = \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 3;}$$

$$\beta_w = \frac{W_{eff.y}}{W_{pl.y}} \quad \text{per sezioni trasversali di classe 4.}$$

- (2) Il rapporto di snellezza geometrica λ_{LT} per l'instabilità flesso-torsionale è per tutte le classi di sezioni dato da:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 E W_{pl.y}}{M_{cr}}} \quad [\text{F } 13]$$

F 2.2. Travi con sezioni trasversali uniformi doppiamente simmetriche

- (1) Per i casi con $z_g = 0$ (carico di momento agli estremi o carichi trasversali applicati al centro di taglio) e $k = k_w = 1,0$ (nessun incastro agli estremi), si può ricavare il valore di λ_{LT} dalle equazioni:

$$\lambda_{LT} = \frac{L \sqrt[4]{\frac{W_{pl.y}^2}{I_z I_w}}}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{1 + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_w}}} \quad [\text{F } 14]$$

che può essere scritta anche:

$$\lambda_{LT} = \frac{L / i_{LT}}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{1 + \frac{(L / a_{LT})^2}{25,66}}}$$

[F 15]

dove:

$$a_{LT} = \sqrt{\frac{I_w}{I_t}}$$

- (2) Per un profilo semplice ad I oppure ad H (senza irrigidimenti di bordo):

$$I_w = \frac{I_z h_s^2}{4}$$

[F 16]

dove:

$$h_s = h - t_f$$

- P(3) Per una sezione trasversale doppiamente simmetrica, il valore di i_{LT} è dato dall'equazione:

$$i_{LT} = \sqrt[4]{\frac{I_z I_w}{W_{pl,y}^2}}$$

[F 17]

oppure, con una leggera approssimazione, da:

$$i_{LT} = \sqrt{\frac{I_z}{(A - 0,5 t_w h_s)}}$$

[F 18]

- P(4) Per profili laminati a I oppure ad H, che si conformano alla "Norma di riferimento" 2, si possono usare le approssimazioni conservative che seguono:

$$\lambda_{LT} = \frac{L / i_{LT}}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left[\frac{L / i_{LT}}{h / t_f} \right]^2}}$$

[F 19]

oppure:

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 L / i_z}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left[\frac{L / i_z}{h / t_f} \right]^2}}$$

[F 20]

- P(5) Per qualsiasi profilo con sezione aperta ad I oppure ad H con ali uguali, la equazione approssimata che segue è conservativa:

$$\lambda_{LT} = \frac{L / i_z}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{1 + \frac{1}{20} \left[\frac{L / i_z}{h / t_f} \right]^2}}$$

[F 21]

- P(6) Si possono includere i casi con $k < 1,0$ e/o $k_w < 1,0$ usando le equazioni:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL \sqrt[4]{\frac{W_{pl,y}^2}{I_z I_w}}}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 + \frac{kL^2 G I_t}{\pi^2 E I_w}}}$$

[F 22]

oppure:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL / i_{LT}}{\sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 + \frac{(kL / a_{LT})^2}{25,66}}}$$

[F 23]

oppure per profili laminati standard ad I oppure ad H:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL / i_{LT}}{\sqrt{C_1^4 \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{kL / i_{LT}}{h / t_f} \right)^2 \right]}} \quad [F 24]$$

oppure:

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 kL / i_z}{\sqrt{C_1^4 \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{kL / i_z}{h / t_f} \right)^2 \right]}} \quad [F 25]$$

oppure per un qualsiasi profilo con sezione aperta ad I oppure ad H con ali uguali:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL / i_z}{\sqrt{C_1^4 \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{kL / i_z}{h / t_f} \right)^2 \right]}} \quad [F 26]$$

P(7) Tranne quando si è previsto un apposito vincolo all'ingobbamento, si raccomanda di prendere k_w uguale a 1,0.

P(8) Si possono includere i casi con carico trasversale applicato al di sopra del centro di taglio ($z_g > 0$) o sotto il centro di taglio ($z_g < 0$), usando l'equazione:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL^4 \sqrt{\frac{W_{pl,y}^2}{I_z I_w}}}{\sqrt{C_1} \sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_w} + (C_2 Z_g)^2 \frac{I_z}{I_w}} - C_2 Z_g \sqrt{\frac{I_z}{I_w}} \right]}} \quad [F 27]$$

oppure, in alternativa, l'equazione:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL / i_{LT}}{\sqrt{C_1} \sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{(kL / i_{LT})^2}{25,66} + \left(\frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right)^2} - \frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right]}} \quad [F 28]$$

oppure per profili standard laminati con sezioni ad I oppure ad H, l'equazione:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL / i_{LT}}{\sqrt{C_1} \sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{kL / i_{LT}}{h / t_f} \right)^2 + \left(\frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right)^2} - \frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right]}} \quad [F 29]$$

oppure, in alternativa, l'equazione:

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 kL / i_z}{\sqrt{C_1} \sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{kL / i_z}{h / t_f} \right)^2 + \left(\frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right)^2} - \frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right]}} \quad [F 30]$$

oppure, per un qualsiasi profilo con sezione aperta ad I oppure ad H con ali uguali, l'equazione:

$$\lambda_{LT} = \frac{kL / i_z}{\sqrt{C_1} \sqrt{\left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{1}{20} \left(\frac{kL / i_z}{h / t_f} \right)^2 + \left(\frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right)^2} - \frac{2 C_2 Z_g}{h_s} \right]}} \quad [F 31]$$

APPENDICE J (normativa)

Collegamenti trave-colonna

J 1. Campo di applicazione

J 1.1. Tipi di collegamento

- P(1) Questa appendice fornisce le regole applicative per la progettazione di collegamenti trave-colonna, seguendo i principi dati in 6.9.
- P(2) Si suppone che sia la trave sia la colonna abbiano sezioni ad I oppure ad H .
- P(3) Si suppone che la trave sia collegata all'ala della colonna.
- P(4) I tipi di collegamento trattati sono mostrati nella fig. J 1.1, essi sono i seguenti:
- collegamenti saldati;
 - collegamenti bullonati con flange di estremità estese oltre l'ala della trave;
 - collegamenti bullonati con flange di estremità a filo dell'ala della trave.
- P(5) L'anima della colonna può avere:
- irrigidimenti allineati con entrambe le ali della trave;
 - irrigidimenti allineati con un'ala della trave;
 - nessuno degli irrigidimenti allineati con le ali della trave.
- P(6) Inoltre l'anima della colonna può essere rinforzata da:
- irrigidimenti diagonali;
 - un piatto di rinforzo dell'anima.
- P(7) Nei collegamenti bullonati, le ali della colonna possono essere rinforzate con l'uso di contropiastre.
- P(8) Vengono forniti dei metodi per la determinazione delle seguenti caratteristiche di un collegamento trave-colonna:
- momento resistente;
 - rigidezza rotazionale,
 - capacità di rotazione.

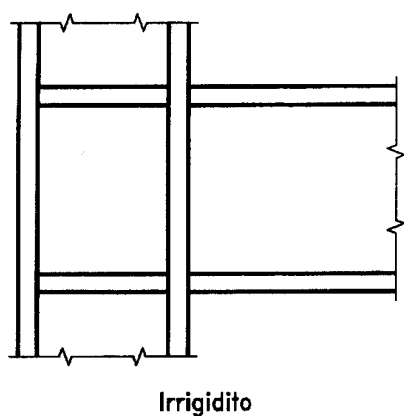
J 1.2. Altri tipi di collegamenti

- P(1) I metodi dati in questa appendice possono venire applicati anche a collegamenti trave-trave.
- P(2) Alcune parti dei metodi presentati possono venire applicate anche alle componenti corrispondenti di altri tipi di collegamento.
- P(3) Queste regole applicative non riguardano collegamenti nei quali la trave deve essere collegata all'anima della colonna.
- P(4) Queste regole di applicazione non devono essere utilizzate per membrature con sezioni diverse dalle sezioni ad I oppure ad H .

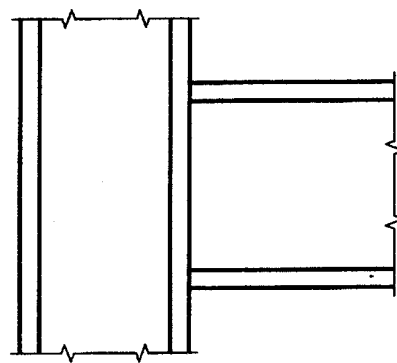
J 2. Collegamenti trave-colonna saldati

J 2.1. Momento resistente

- P(1) Il momento resistente di un collegamento trave-colonna saldato dipende da:
- la resistenza della zona tesa (vedere J 2.3);
 - la resistenza della zona compressa (vedere J 2.4);
 - la resistenza della zona soggetta a taglio (vedere J 2.5).

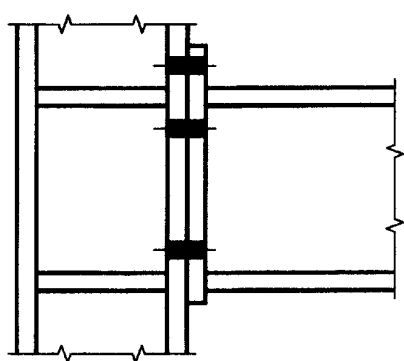


Irrigidito

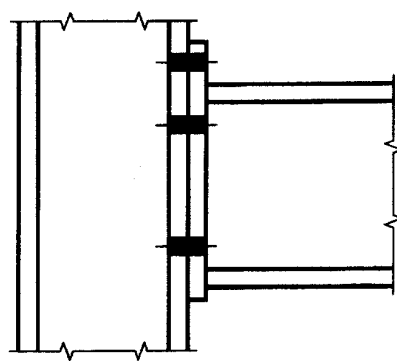


Non irrigidito

(a) Collegamenti saldati

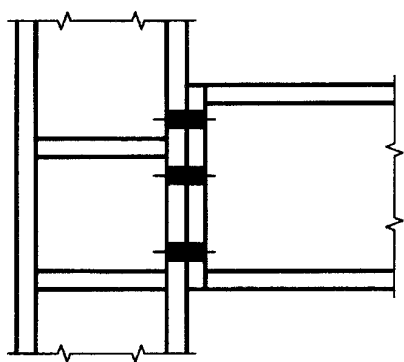


Irrigidito

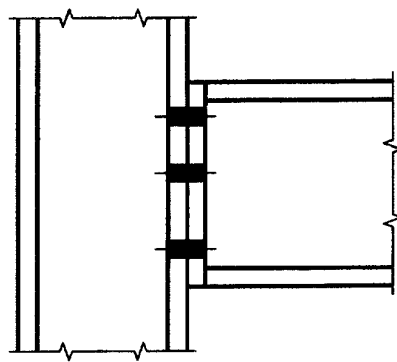


Non irrigidito

(b) Collegamenti bullonati con flange di estremità estese oltre l'ala della trave



Irrigidito



Non irrigidito

(c) Collegamenti bullonati con flange di estremità a filo dell'ala della trave

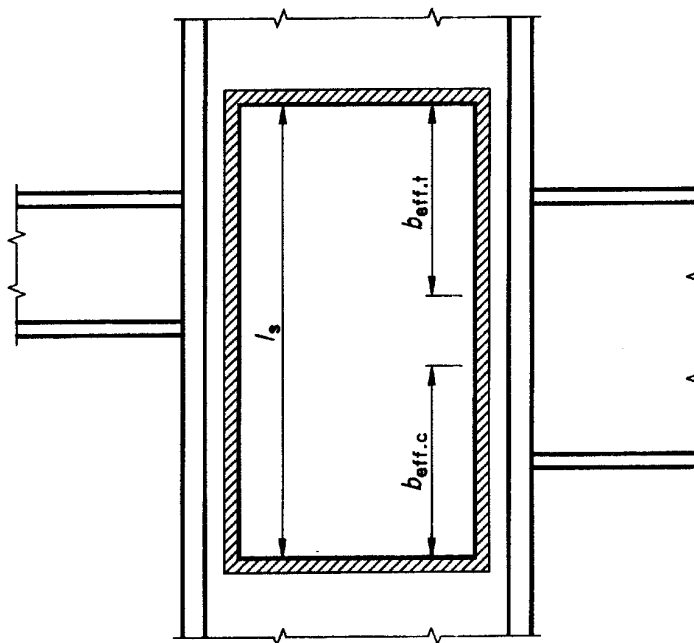
Fig. J 1.1 - Collegamenti trave-colonna

J 2.2. Piatti di rinforzo dell'anima

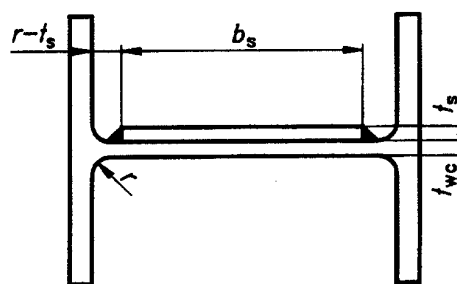
P(1) Si può usare un piatto di rinforzo dell'anima (vedere fig. J 2.1) per aumentare la resistenza dell'anima di una colonna:

- in trazione (vedere J 2.3.2);
- in compressione (vedere J 2.4.1);
- a taglio (vedere J 2.5.1).

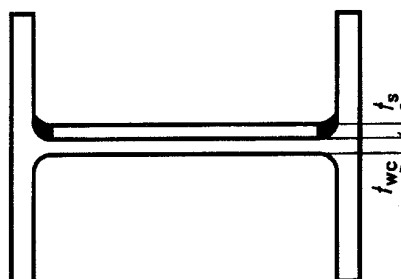
- P(2) La qualità dell'acciaio del piatto di rinforzo dell'anima deve essere simile a quella della colonna.
- P(3) La larghezza b_s deve essere tale che le saldature, che collegano il piatto di rinforzo dell'anima, si estendano fino all'estremità del raccordo (vedere fig. J 2.1).
- P(4) La lunghezza l_s deve essere tale che il piatto di rinforzo dell'anima si estenda lungo tutta la lunghezza efficace dell'anima in trazione ed in compressione (vedere fig. J 2.1).
- P(5) Lo spessore t_s non deve essere minore dello spessore t_{wc} dell'anima della colonna.



(a) Vista laterale



(b) Sezione trasversale con saldature longitudinali a cordoni d'angolo



(c) Sezione trasversale con saldature longitudinali di testa

Fig. J 2.1 - Piatto di rinforzo dell'anima

P(6) Il piatto di rinforzo dell'anima deve essere saldato tutto all'intorno (vedere fig. J 2.1). Le saldature devono avere una sezione di gola a pari a uno dei seguenti valori:

- (a) quando si richiede che il piatto di rinforzo dell'anima aumenti la resistenza dell'anima a taglio oppure a compressione:

$$a \geq \frac{t_s}{\sqrt{2}} \quad [J 1]$$

- (b) quando si richiede che il piatto di rinforzo dell'anima aumenti la resistenza dell'anima a trazione [vedere J 2.3.2(4)]:

- saldature longitudinali di testa:

$$a \geq t_s \quad [J 2]$$

- saldature trasversali e saldature longitudinali a cordoni d'angolo.

$$a \geq \frac{t_s}{\sqrt{2}} \quad [J 3]$$

P(7) Quando la larghezza b_s di un piatto di rinforzo dell'anima è maggiore di $40 \varepsilon t_s$, si deve disporre una fila di saldature entro fori o di bulloni per garantire una collaborazione adeguata fra il piatto di rinforzo e l'anima della colonna (vedere fig. J 2.2). Devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

$$e_1 \leq 40 \varepsilon t_s$$

$$e_2 \leq 40 \varepsilon t_s$$

$$p \leq 40 \varepsilon t_s$$

$$d_0 \geq t_s$$

dove:

e_1 è la distanza dei fori dall'estremità;

e_2 è la distanza dei fori dal bordo;

p è il passo dei fori;

d_0 è il diametro dei fori;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ in N/mm}^2)$$

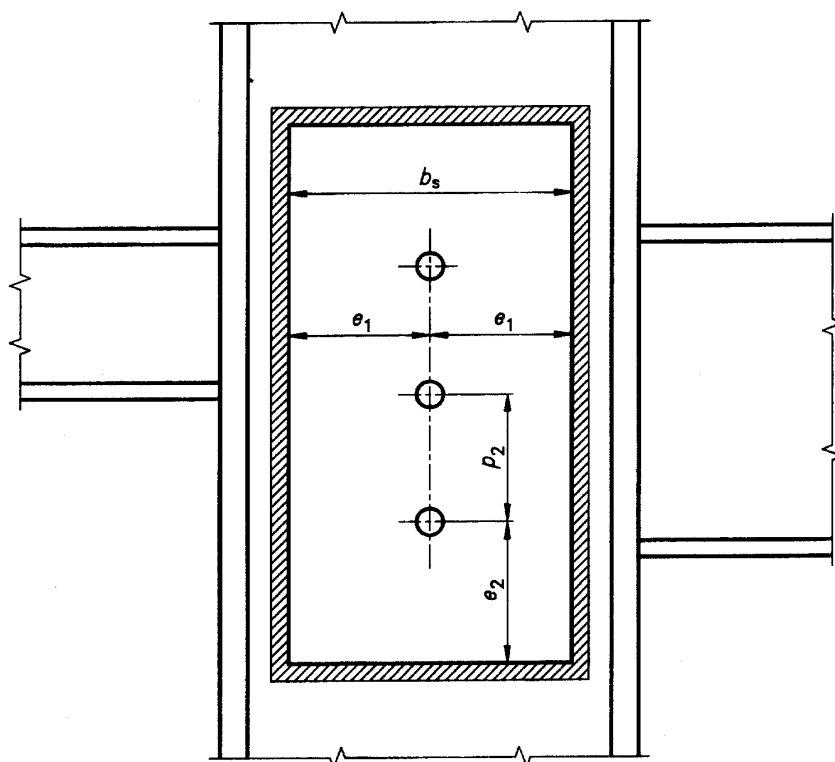


Fig. J 2.2 - Spaziatura delle saldature entro fori o dei bulloni per piatto di rinforzo dell'anima

J 2.3. Resistenza della zona tesa

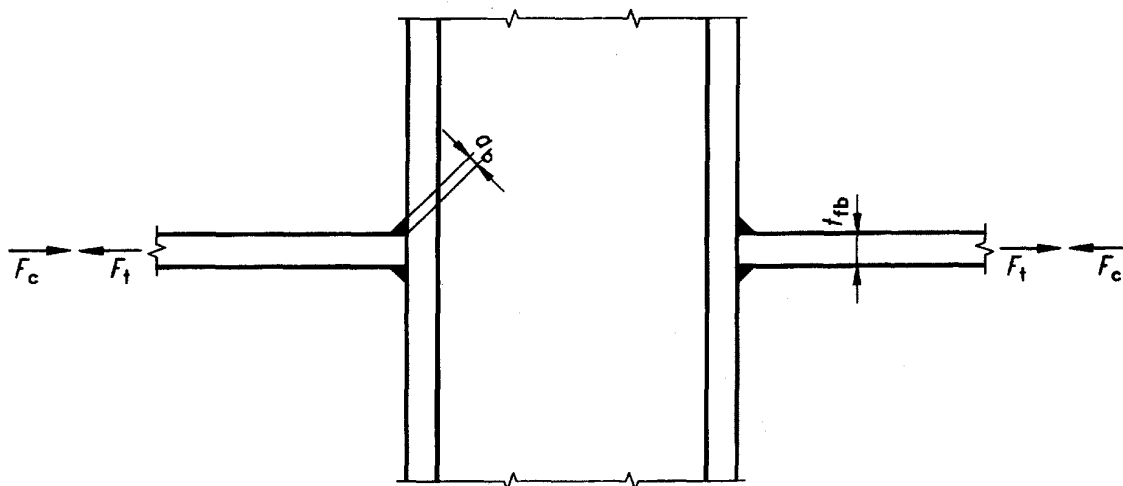
J 2.3.1. Ala di colonna non irrigidita

P(1) La resistenza di progetto di un'ala non irrigidita di una colonna assoggettata a forza di tensione trasversale (vedere fig. J 2.3) è data dalle seguenti formule:

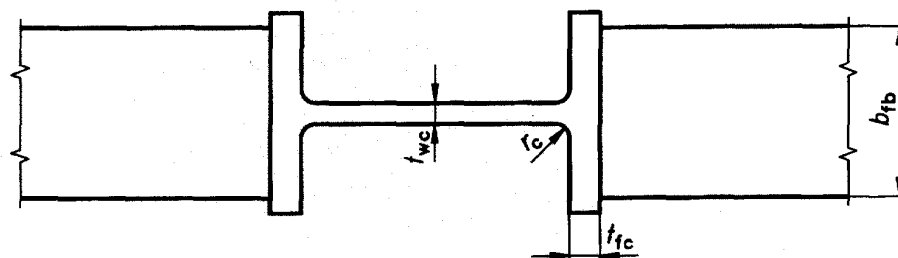
– per una colonna laminata a sezione ad I oppure ad H:

$$F_{t,Rd} = \frac{[f_{yb} t_{fb} (t_{wc} + 2 r_c) + 7 f_{yc} t_{fc}^2]}{\gamma_{M0}} \quad [J 4]$$

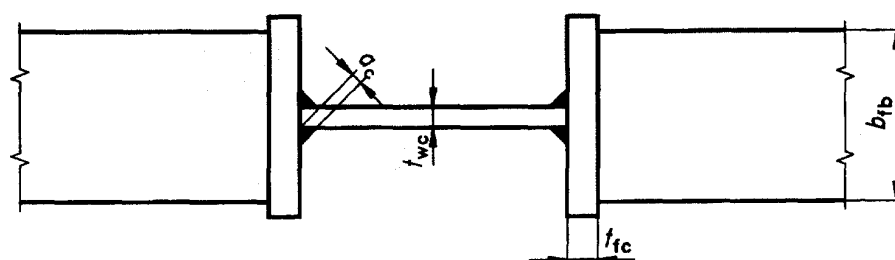
$$\text{ma: } F_{t,Rd} \leq \frac{f_{yb} t_{fb} (t_{wc} + 2 r_c + 7 t_{fc})}{\gamma_{M0}} \quad [J 5]$$



(a) Vista laterale



(b) Profilo laminato



(c) Profilo saldato

Fig. J 2.3 - Forza trasversale su una colonna non irrigidita

- per una colonna saldata a sezione ad I oppure ad H:

$$F_{t.Rd} = \frac{[f_{yb} t_{fb} (t_{wc} + 2\sqrt{2} a_c) + 7 f_{yc} t_{fc}^2]}{\gamma_{M0}} \quad [J 6]$$

$$\text{ma: } F_{t.Rd} \leq \frac{f_{yb} t_{fb} (t_{wc} + 2\sqrt{2} a_c + 7 t_{fc})}{\gamma_{M0}} \quad [J 7]$$

- P(2) Se la resistenza di progetto $F_{t.RD}$, ottenuta da P(1) non soddisfa la condizione che segue, il giunto deve essere irrigidito:

$$F_{t.Rd} \geq \frac{0,7 f_{yb} t_{fb} b_{fb}}{\gamma_{M0}} \quad [J 8]$$

dove:

b_{fb} è la larghezza dell'ala della trave.

- P(3) Le saldature che collegano l'ala della trave alla colonna devono venire progettate in modo che sviluppino l'intera resistenza di progetto dell'ala della trave $f_{yb} t_{fb} b_{fb} / \gamma_{M0}$

J 2.3.2. Anima di colonna non irrigidita

- P(1) La resistenza di progetto dell'anima di una colonna non irrigidita, soggetta a forza di trazione trasversale, è data dalla equazione:

$$F_{t.Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad [J 9]$$

- P(2) In un collegamento saldato, la larghezza efficace dell'anima della colonna (vedere fig. J 2.3) è data dalle seguenti espressioni:

- per una colonna in profilo laminato ad I oppure ad H:

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + r_c) \quad [J 10]$$

- per una colonna in profilo saldato ad I oppure ad H:

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + \sqrt{2} a_c) \quad [J 11]$$

- P(3) L'anima non irrigidita di una colonna può venire rinforzata aggiungendo un piatto di rinforzo dell'anima (vedere J 2.2).

- P(4) La resistenza di progetto a trazione di un'anima di colonna con un piatto di rinforzo dell'anima, in conformità a J 2.2, dipende dall'ampiezza della sezione di gola delle saldature longitudinali che collegano il piatto di rinforzo dell'anima [vedere J 2.2(6) (b)]. Lo spessore efficace $t_{w,eff}$ dell'anima può essere valutato in uno dei modi che seguono:

- quando le saldature longitudinali sono saldature di testa con un'altezza della sezione di gola $a \geq t_s$:

- con un piatto di rinforzo dell'anima:

$$t_{w,eff} = 1,5 t_{wc} \quad [J 12]$$

- con piatti di rinforzo dell'anima da entrambi i lati.

$$t_{w,eff} = 2,0 t_{wc} \quad [J 13]$$

- quando le saldature longitudinali sono saldature a cordoni d'angolo con un'altezza della sezione di gola $a \geq t_s / \sqrt{2}$ allora sia per uno sia per due piatti di rinforzo dell'anima:

$$t_{w,eff} = 1,4 t_{wc} \quad [J 14]$$

J 2.3.3. Colonna irrigidita

- P(1) La resistenza di progetto di una colonna irrigidita soggetta ad una forza trasversale di trazione è pari almeno alla resistenza di progetto dell'ala della trave, purché gli irrigidimenti soddisfino i seguenti requisiti:

- a) Lo spessore degli irrigidimenti non deve essere minore dello spessore dell'ala della trave.

- b) Se la qualità dell'acciaio degli irrigidimenti è inferiore a quella della trave, si deve ugualmente verificare l'adeguatezza degli irrigidimenti a resistere alle forze trasversali applicate dalle ali della trave.
- c) Le saldature fra gli irrigidimenti e le ali della colonna devono venire progettate in modo da resistere alle forze trasversali applicate dalle ali della trave.
- d) Le saldature fra gli irrigidimenti e l'anima della colonna devono venire progettate in modo da resistere alle forze che devono venire trasferite all'anima della colonna dalle ali della trave.

J 2.4. Resistenza della zona compressa

J 2.4.1. Anima di colonna non irrigidita

- P(1) La resistenza di progetto allo schiacciamento di un'anima di colonna non irrigidita, soggetta ad una forza trasversale di compressione, è data dall'espressione:

$$F_{c.Rd} = f_{yc} t_{wc} \left[1,25 - 0,5 \frac{\gamma_{M0} \sigma_{n.Ed}}{f_{yc}} \right] \frac{b_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad [J 15]$$

$$\text{ma: } F_{c.Rd} \leq \frac{f_{yc} t_{wc} b_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad [J 16]$$

dove:

$\sigma_{n.Ed}$ è la tensione normale massima di compressione nell'anima della colonna, dovuta a forza assiale ed a flessione.

- P(2) In un collegamento saldato, la larghezza efficace dell'anima della colonna (vedere fig. J 2.3) è data dall'espressione:

– per una colonna in profilo laminato ad I oppure ad H :

$$b_{eff} = t_{fb} + 2 \sqrt{2} a_b + 5 (t_{fc} + r_c) \quad [J 10]$$

– per una colonna in profilo saldato ad I oppure ad H :

$$b_{eff} = t_{fb} + 2 \sqrt{2} a_b + 5 (t_{fc} + \sqrt{2} a_c) \quad [J 11]$$

- P(3) Inoltre si deve verificare, in accordo a quanto indicato in 5.7.5, la resistenza all'instabilità dell'anima di una colonna valutata come per una membratura compressa, secondo uno dei modi illustrati in fig. J 2.4.

- P(4) Normalmente si deve prevenire il modo di instabilizzarsi “a nodi spostabili”, indicato nella fig. J 2.4.(b), con opportuni elementi di ritegno.

- P(5) Un'anima non irrigidita di colonna può venire rinforzata aggiungendo un piatto di rinforzo dell'anima, come indicato in J 2.2.

- P(6) Nel calcolo della resistenza di progetto allo schiacciamento di un'anima di colonna con un piatto di rinforzo, si può prendere lo spessore efficace dell'anima uguale a $1,5 t_{wc}$ quando si aggiunga un piatto di rinforzo, oppure uguale a $2,0 t_{wc}$ quando vengono aggiunti piatti di rinforzo da entrambi i lati dell'anima.

J 2.4.2. Anima di colonna irrigidita

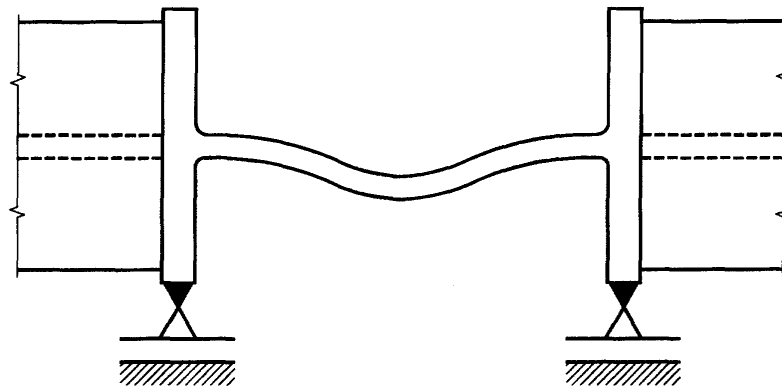
- P(1) La resistenza di progetto di un'anima di colonna irrigidita, soggetta ad una forza trasversale di compressione, è pari almeno alla resistenza di progetto dell'ala della trave, purché gli irrigidimenti soddisfino i requisiti specificati in J 2.3.3(1).

J 2.5. Resistenza della zona soggetta a taglio

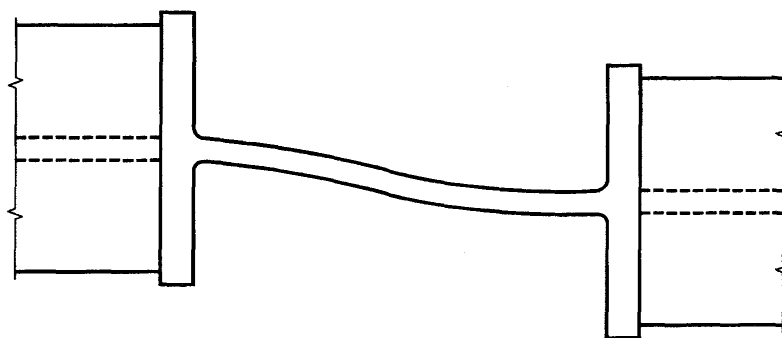
J 2.5.1. Pannello d'anima di colonna non irrigidito

- P(1) La resistenza plastica di progetto di un pannello d'anima di colonna non irrigidito, soggetto a forza di taglio, vedere fig. J 2.5, è data dalla espressione:

$$V_{pl.Rd} = \frac{f_{yc} A_v / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad [J 17]$$



(a) Modo a nodi fissi



(b) Modo a nodi spostabili

Fig. J 2.4 - Modi di instabilità “a colonna” di un’anima non irrigidita

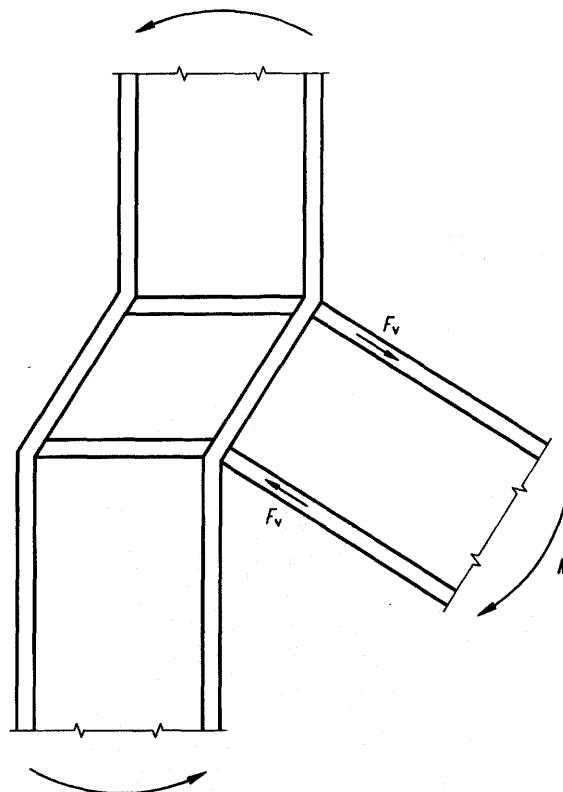


Fig. J 2.5 - Pannello d'anima di colonna non irrigidito soggetto a forza di taglio

dove:

A_v è l'area di taglio della colonna, come definita in 5.4.6(2).

- P(2) Inoltre si deve controllare, se necessario, la resistenza all'instabilità per taglio [vedere 5.4.6(7)].
- P(3) Un'anima di colonna non irrigidita può venire rinforzata mediante un piatto di rinforzo, come indicato in J 2.2.
- P(4) Nel calcolo della resistenza di progetto a taglio di un pannello d'anima con un piatto di rinforzo, si può aumentare la sua area di taglio A_v di $b_s t_{wc}$. Non si devono fare ulteriori aumenti di A_v se vengono aggiunti piatti di rinforzo da entrambi i lati dell'anima.

J 2.5.2. Pannello d'anima di colonna irrigidito

- P(1) Quando vengono usati irrigidimenti diagonali d'anima (vedere fig. J 2.6) per aumentare la resistenza a taglio di un'anima di colonna, questi devono essere progettati per resistere alle forze di trazione e compressione trasmesse alla colonna dalle ali delle travi
- P(2) Le saldature fra irrigidimenti e le ali della colonna devono essere progettate in modo da resistere alle forze negli irrigidimenti.
- P(3) Le saldature fra gli irrigidimenti e l'anima della colonna non devono essere dimensionate in base a specifici requisiti statici.

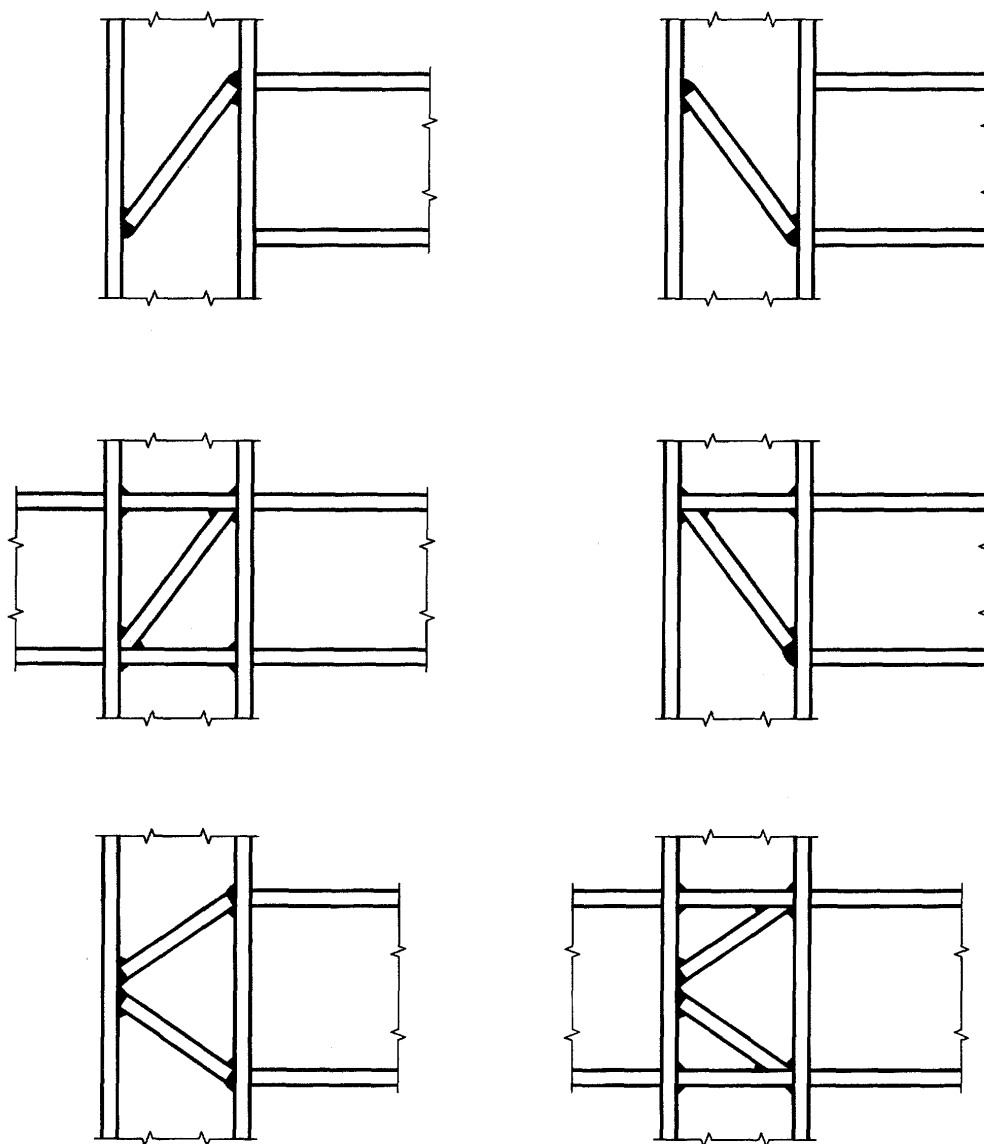


Fig. J 2.6 - Pannelli d'anima di colonna con irrigidimenti diagonali

J 2.6. Rigidezza rotazionale

P(1) La rigidezza rotazionale di un collegamento saldato trave-colonna può essere determinata mediante l'espressione:

$$S_j = \frac{E(h_b - t_{fb})^2 t_{wc}}{\sum \frac{1}{k_i} \left(\frac{F_i}{F_{i,Rd}} \right)^2} \quad [\text{J } 18]$$

dove:

S_j è la rigidezza secante con riferimento ad uno specifico valore del momento M nel collegamento ($M \leq M_{Rd}$);

k_i è il coefficiente di rigidezza per il componente i ;

F_i è la forza nel componente i del collegamento dovuta al momento M , ma non minore di $F_{i,Rd}/1,5$;

$F_{i,Rd}$ è la resistenza di progetto del componente i del collegamento.

P(2) In un collegamento non irrigidito saldato, si devono prendere i fattori di rigidezza k_i nel modo seguente:

- anima della colonna, zona soggetta a taglio : $k_1 = 0,24$
- anima della colonna, zona tesa : $k_2 = 0,8$
- anima della colonna, zona compressa : $k_3 = 0,8$

P(3) Per ogni componente irrigidito, il relativo coefficiente k_i di rigidezza deve essere assunto uguale all'infinito.

P(4) Si può assumere che un collegamento saldato, nel quale l'anima della colonna è irrigidita sia nella zona tesa sia nella zona compressa, sia un collegamento rigido (vedere 6.4.2.2).

J 2.7. Capacità di rotazione

P(1) Si può assumere che un collegamento trave-colonna saldato non irrigidito progettato in conformità con le regole applicative date in questa appendice, abbia una capacità di rotazione ϕ_{Cd} di 0,015 radianti.

P(2) Si può assumere che un collegamento trave-colonna saldato a completo ripristino abbia una adeguata capacità di rotazione per l'analisi plastica.

P(3) Si può assumere che un collegamento saldato trave-colonna, nel quale la resistenza al momento sia governata dalla resistenza della zona di taglio, abbia una capacità di rotazione adeguata per l'analisi plastica.

P(4) Si può assumere che un collegamento saldato trave-colonna, nel quale la colonna è irrigidita sia nella zona tesa sia nella zona compressa, abbia una capacità di rotazione adeguata per l'analisi plastica, anche se non è a completo ripristino.

P(5) Si può assumere che un collegamento saldato trave-colonna, nel quale la colonna è irrigidita nella zona tesa ma non lo è nella zona compressa, abbia una capacità di rotazione adeguata per l'analisi plastica.

P(6) In un collegamento saldato trave-colonna, nel quale la colonna è irrigidita nella zona compressa ma non nella zona tesa, quando la resistenza al momento non è governata dalla resistenza della zona soggetta a taglio, vedere (3), la capacità di rotazione ϕ_{Cd} può venire determinata dalla espressione:

$$\phi_{Cd} = 0,025 \frac{h_c}{h_b} \quad [\text{J } 19]$$

J 3. Collegamenti trave-colonna bullonati**J 3.1. Limitazioni**

P(1) Il punto J 3 considera i collegamenti che rispettino le seguenti condizioni:

- si suppone che tutti i collegamenti trave-colonna bullonati abbiano solo due bulloni per ciascuna riga di bulloni;

- si suppone che la parte esterna alla trave di una flangia di estremità estesa abbia una sola riga di bulloni;
 - si suppone che la parte esterna alla trave di una flangia di estremità estesa non sia irrigidita.
- P(2) Alcune parti dei metodi dati in J 3 possono essere applicate anche alle parti corrispondenti di altri tipi di collegamento.
- P(3) La rigidezza rotazionale valutata per lo stato limite di esercizio è ragionevolmente accurata, ma, in alcuni casi, la rigidezza rotazionale, valutata per lo stato limite ultimo, è inferiore a quella effettiva

J 3.2. Momento resistente

- P(1) Il momento resistente di un collegamento bullonato trave-colonna dipende da:
- la resistenza della zona in trazione (vedere J 3.4);
 - la resistenza della zona in compressione (vedere J 3.5);
 - la resistenza della zona soggetta a taglio (vedere J 3.6).
- P(2) Tranne quanto specificato in (3), si deve determinare la resistenza al momento di un collegamento bullonato trave-colonna usando il metodo di calcolo J 3.1.
- P(3) Si può determinare il momento resistente di un collegamento bullonato trave-colonna, per il quale si richieda il completo ripristino di resistenza, usando il metodo di calcolo J 3.1 oppure, in alternativa, usando il metodo di calcolo J 3.2.

Metodo di calcolo J 3.1		Foglio 1
Momento resistente di un collegamento bullonato trave-colonna		
Distribuzione plastica delle forze dei bulloni		
(1)	Si determini la resistenza dell'ala della colonna nella zona in trazione (vedere da J 3.4.1 a J 3.4.3).	
(2)	Si determini la resistenza della flangia di estremità della trave nella zona in trazione (vedere J 3.4.4.)	
(3)	Usando i valori ottenuti nei passi (1) e (2), si ottenga la resistenza efficace per ciascuna singola riga di bulloni nella zona in trazione (vedere J 3.4.5).	
(4)	Tranne che nel caso di un collegamento a completo ripristino, se il valore di progetto della resistenza efficace per qualsiasi singola riga di bulloni supera $1,8 B_{t,Rd}$ [$B_{t,Rd}$ è dato in J 3.3(3)], si cambi il progetto del collegamento (per esempio usando bulloni più resistenti), tranne nel caso in cui si possa mostrare che la resistenza efficace di quella riga di bulloni possa venire omessa (oppure ridotta a meno di $1,8 B_{t,Rd}$) nel passo (10).	
(5)	A partire dal passo (3), si determini la resistenza efficace totale di tutte le righe di bulloni nella zona in trazione.	
(6)	Si determini la resistenza dell'anima della colonna nella zona in trazione (vedere da J 3.4.6 e J 3.4.7).	
(7)	Si determini la resistenza dell'anima della colonna nella zona in compressione (vedere J 3.5).	
(8)	Si determini la resistenza dell'anima della colonna nella zona soggetta a taglio (vedere J 3.6).	
(9)	Si adotti come resistenza della zona più debole il più basso dei valori di progetto ottenuti nei passi da (5) ad (8).	
(10)	Se la resistenza efficace totale delle righe di bulloni nella zona in trazione, ottenuta nel passo (5), è maggiore della resistenza della zona più debole ottenuta nel passo (9), la si riduca omettendo o riducendo in successione la resistenza efficace delle righe di bulloni, a partire dalla riga più prossima al centro di compressione, finché la resistenza efficace delle rimanenti righe di bulloni risulti uguale alla resistenza della zona più debole.	
(11)	Si adotti una zona di trazione ridotta che contenga solamente quelle righe di bulloni che rimangono dopo aver completato il passo (10).	
(12)	Si ricontrolli la resistenza dell'anima della colonna nella zona tesa ridotta (vedere da J 3.4.6 a J 3.4.7).	

Metodo di calcolo J 3.1	Foglio 2
(13) Se il valore ottenuto nel passo (12) è minore della resistenza totale efficace delle righe di bulloni nella zona di tensione ridotta, lo si adotti come nuovo valore della resistenza della zona più debole e si ritorni al passo (10). (14) Si controlli la resistenza della zona in trazione dell'anima della trave, adiacente alla flangia di estremità, nello stesso modo che per l'anima della colonna, passo (12). (15) Se il valore ottenuto nel passo (14) è minore della resistenza totale efficace delle righe di bulloni nella zona di tensione ridotta, lo si adotti come nuovo valore della resistenza della zona più debole e si ritorni al passo (10). (16) Si determini il valore di progetto M_{Rd} del momento resistente del collegamento basato sulle righe di bulloni nella zona tesa ridotta, mediante l'equazione: $M_{Rd} = \sum F_{ti,Rd} h_i$ dove: $F_{ti,Rd}$ è il valore di progetto della resistenza efficace di una singola riga di bulloni; h_i è la distanza da quella riga di bulloni al centro di resistenza della zona di compressione. (17) Ci si assicuri che la resistenza delle saldature fra l'ala della trave e la flangia di estremità soddisfi quanto indicato in J 3.4.4(6).	

Metodo di calcolo J 3.2	Foglio 1
Momento resistente di un collegamento bullonato trave-colonna – Distribuzione delle forze dei bulloni in proporzione alla distanza dal centro di compressione	
(1) Si adotti una distribuzione delle forze dei bulloni nella quale la resistenza di ciascuna singola riga di bulloni nella zona in trazione sia proporzionale alla sua distanza dal centro di resistenza della zona in compressione e la massima forza della riga dei bulloni sia $2,0 B_{t,Rd}$, dove $B_{t,Rd}$ è dato in J 3.3(3). (2) Usando i valori ottenuti nel passo (1), si determini la resistenza totale efficace di tutte le righe di bulloni nella zona tesa. (3) Si determini la resistenza dell'anima della colonna nella zona in trazione; vedere da J 3.4.6 a J 3.4.7. (4) Si determini la resistenza dell'anima della colonna nella zona in compressione; vedere J 3.5. (5) Si determini la resistenza dell'anima della colonna nella zona soggetta a taglio; vedere J 3.6. (6) Come resistenza della zona più debole, si adotti il più basso dei valori di progetto ottenuti nei passi da (2) a (5). (7) Se la resistenza totale efficace di tutte le righe di bulloni nella zona tesa, ottenuta nel passo (2), è maggiore della resistenza della zona più debole, ottenuta nel passo (6), si riduca in proporzione la forza di ciascuna singola riga di bulloni in modo che la forza totale di tutte le righe di bulloni risulti uguale alla resistenza della zona più debole. (8) Per l'ala della colonna, ci si assicuri che la somma delle forze delle righe di bulloni, ottenute nel passo (7), per ciascun gruppo di righe di bulloni (oppure per tutte le righe di bulloni per un'ala non irrigidita) non ecceda $2 M_{pl,Rd}/m$ per la pertinente lunghezza efficace dell'ala di colonna ottenuta da J 3.4.1 oppure da J 3.4.3, dove $M_{pl,Rd}$ ed m sono definiti in J 3.3(3). (9) Se è necessario per soddisfare la condizione al passo (8), si riduca in proporzione la forza in ciascuna riga di bulloni. (10) Per l'ala della colonna, ci si assicuri che la massima forza di una riga di bulloni, ottenuta dal passo (9), per ogni riga di bulloni non adiacente ad un irrigidimento della colonna, non superi $2 M_{pl,Rd}/m$ per una lunghezza efficace dell'ala della colonna uguale al minore fra $4m + 1,25e$ e $2\pi m$, dove e è definito in J 3.3(3). (11) Se è necessario per soddisfare la condizione al passo (10), si riduca in proporzione la forza in ciascuna riga di bulloni.	

	Metodo di calcolo J 3.2	Foglio 2
(12) Per la flangia di estremità della trave, ci si assicuri che la somma delle forze delle righe di bulloni, ottenuta dal passo (11) per ciascun gruppo di righe di bulloni, non ecceda $2 M_{pl.Rd}/m$ per la lunghezza efficace della flangia, ottenuta da J 3.4.4, usando i valori pertinenti di $M_{pl.Rd}$ e di m per la flangia. (13) Se è necessario per soddisfare la condizione al passo (12), si riduca in proporzione la forza in ciascuna riga di bulloni. (14) Per la flangia di estremità della trave, ci si assicuri che la massima forza di una riga di bulloni, ottenuta dal passo (13), in una riga qualsiasi di bulloni non adiacente ad un irrigidimento oppure ad una ala collegata alla flangia di estremità, non superi $2 M_{pl.Rd}/m$ per una lunghezza efficace della flangia uguale al minore fra $4m + 1,25e$ e $2\pi m$. (15) Se è necessario per soddisfare la condizione al passo (14), si riduca in proporzione la forza in ciascuna riga di bulloni. (16) Per l'anima della colonna, ci si assicuri che la massima forza per riga di bulloni, ottenuta dal passo (15), in qualsiasi riga di bulloni che non sia adiacente ad un irrigidimento della colonna, non superi la resistenza dell'anima della colonna nella zona in trazione (vedere J 3.4.6) per una larghezza efficace dell'anima della colonna uguale alla lunghezza efficace dell'ala della colonna ottenuta al passo (10). (17) Se è necessario per soddisfare la condizione al passo (16), si riduca in proporzione la forza in ciascuna riga di bulloni. (18) Si controlli la resistenza della zona in trazione dell'anima della trave, adiacente alla flangia di estremità, nel medesimo modo usato per l'anima della colonna (vedere da J 3.4.6 a J 3.4.7) prendendo in considerazione sia la totalità di ciascun gruppo di righe di bulloni sia la singola riga critica di bulloni in base al passo (14). (19) Se è necessario per soddisfare la condizione al passo (18), si riduca in proporzione la forza in ciascuna riga di bulloni. (20) Si determini il valore di progetto del momento resistente del collegamento M_{Rd} mediante la formula:		
dove: $F_{t1.Rd}$ è il valore di progetto della resistenza efficace della riga di bulloni più lontana dal centro di resistenza della zona di compressione; h_1 è la distanza dalla riga di bulloni più lontana del centro di resistenza della zona di compressione; h_i è la distanza di una riga di bulloni qualsiasi dal centro di resistenza della zona di compressione.	$M_{Rd} = F_{t1.Rd} \frac{\sum h_i^2}{h_1} \quad [J 21]$	

J 3.3. Elementi a T equivalenti

- P(1) La resistenza a trazione dell'ala della colonna e della flangia di estremità della trave sono date con riferimento ad elementi a T equivalenti, vedere la fig. J 3.1.
- P(2) La resistenza di un elemento a T ; può venire determinata:
- dalla resistenza dell'ala;
 - dalla resistenza dei bulloni;
 - dalla resistenza dell'anima;
 - dalla resistenza delle saldature anima-ala, nel caso di un elemento a T saldato.
- P(3) La resistenza a trazione di progetto di un ala di un elemento a T deve venire presa pari al più basso dei valori associati ai tre modi possibili di collasso mostrati nella fig. J 3.2, secondo le seguenti formule:

Modo 1: Meccanismo plastico completo dell'ala:

$$F_{t.Rd} = \frac{4 M_{pl.Rd}}{m} \quad [J 22]$$

Modo 2: Rottura dei bulloni con snervamento dell'ala:

$$F_{t,Rd} = \frac{2 M_{pl,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n} \quad [J 23]$$

Modo 3: Rottura dei bulloni:

$$F_{t,Rd} = \sum B_{t,Rd} \quad [J 24]$$

dove:

$$M_{pl,Rd} = \frac{0,25 l f_y}{\gamma_{M0}} \quad [J 25]$$

$B_{t,Rd}$ è la resistenza di progetto a trazione di un singolo complesso piastra-bullone, vedere 6.5.5(4);

$\sum B_{t,Rd}$ è il valore totale per tutti i bulloni nell'elemento a T;

$n = e_{min}$ ma $n \leq 1,25 m$;

l, m ed e sono le grandezze indicate nella fig. J 3.1.

P(4) La relazione fra geometria del collegamento e modalità di collasso è indicata nella fig. J 3.3, dove:

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

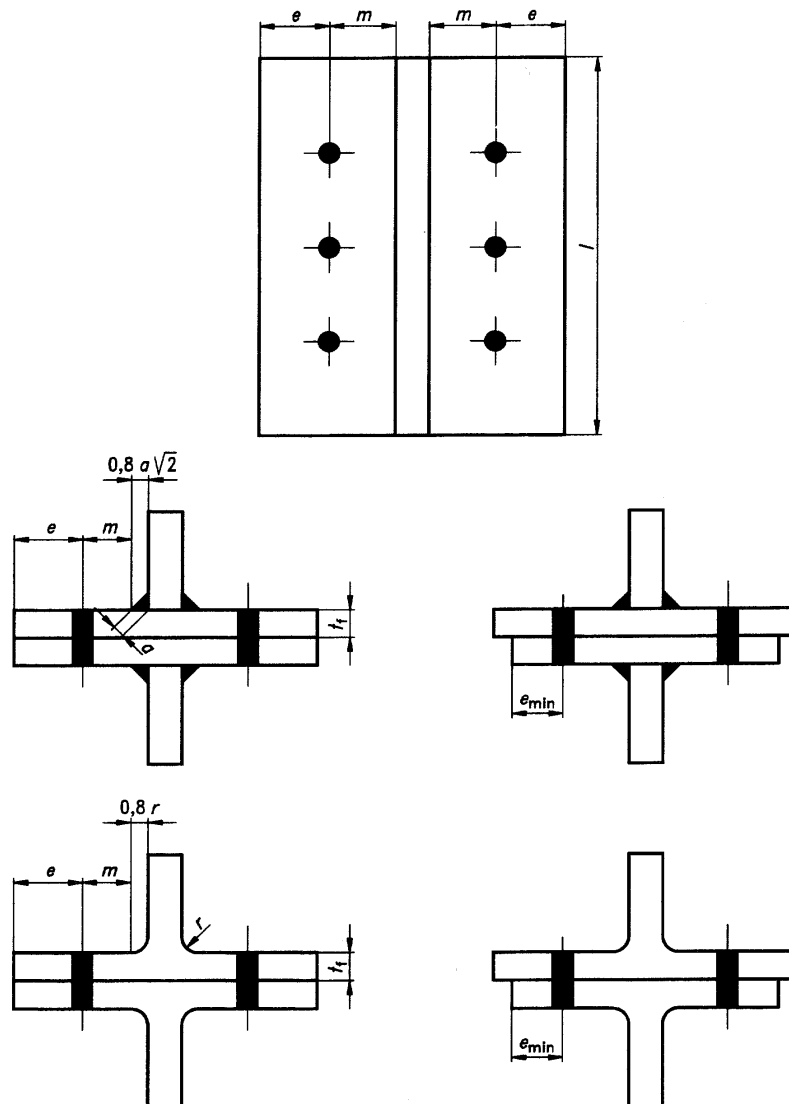


Fig. J 3.1 - Caratteristiche dimensionali di un elemento a T

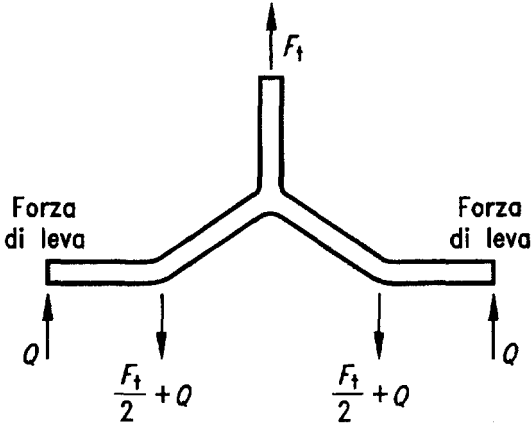
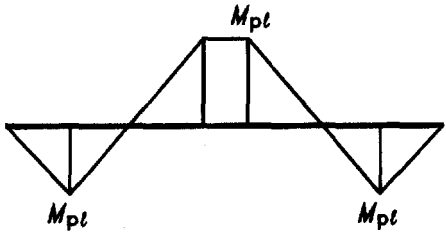
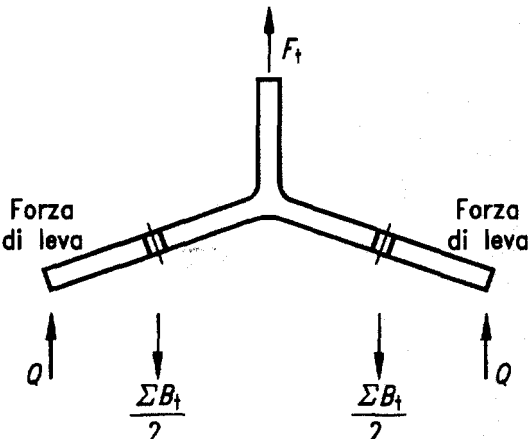
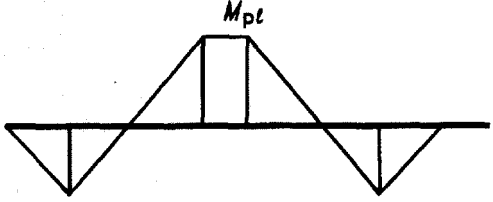
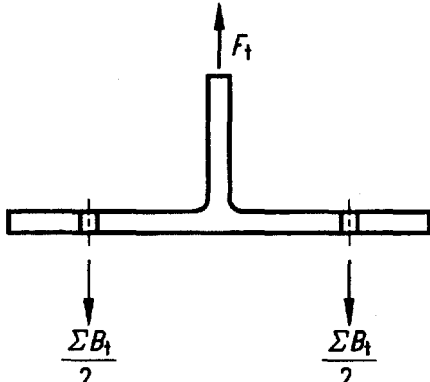
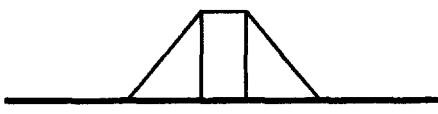
Modalità di collasso	Diagramma del momento
 Modo 1: Meccanismo plastico completo dell'ala	 $F_t = \frac{4M_{pl}}{m}$
 Modo 2: Rottura dei bulloni con snervamento dell'ala	 $F_t = \frac{2M_{pl} + n\Sigma B_t}{m+n}$
 Modo 3: Rottura dei bulloni	 $F_t = \Sigma B_t$

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

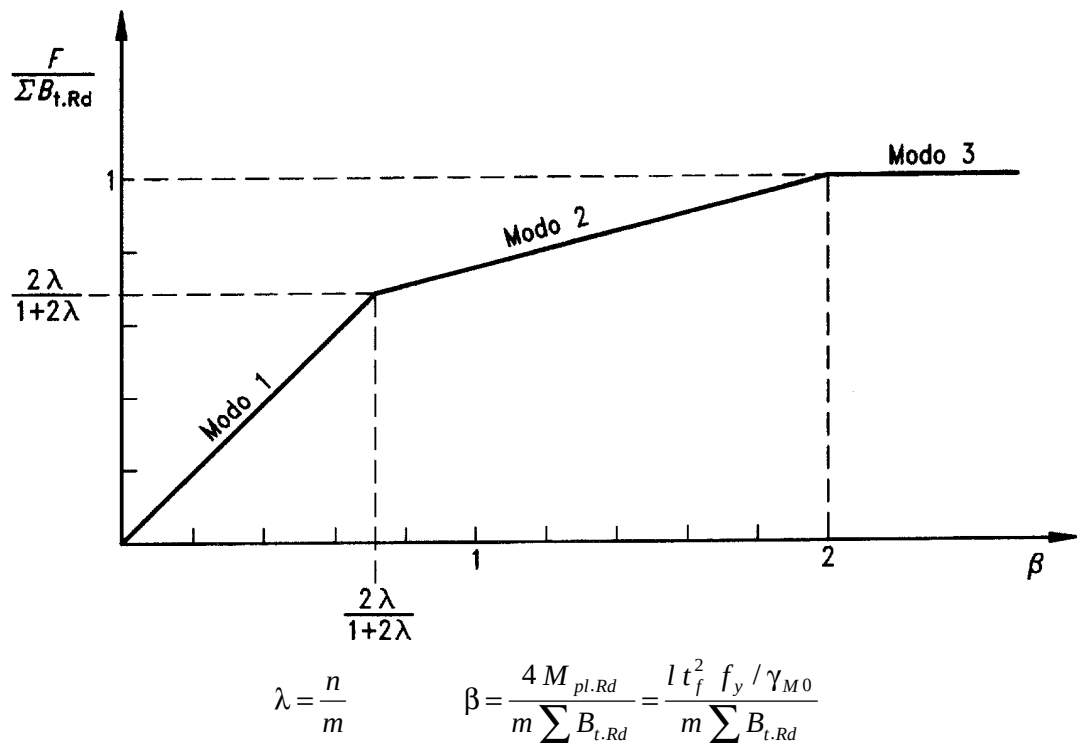


Fig. J 3.3 - Effetti della geometria del collegamento sul modo di collasso di un elemento a T

J 3.4. Resistenza della zona di trazione

J 3.4.1. Ala di colonna non irrigidita

- (1) Si deve considerare che la zona di trazione di un'ala di una colonna non irrigidita si comporti come una serie di elementi a T equivalenti con una lunghezza totale uguale alla lunghezza totale efficace $\sum l_{eff}$ per il meccanismo di collasso nella zona di trazione del collegamento, secondo quanto indicato nella fig. J 3.4.

- (2) Si deve prendere come lunghezza efficace l_{eff} per ciascuna riga di bulloni il minore dei valori seguenti per i casi rispettivi.

(a) per bulloni intermedi:

$$l_{eff,a} = p \quad [\text{vedere fig. J 3.4(a)}] \quad [J 26]$$

$$l_{eff,a} = 4m + 1,25e \quad [\text{vedere fig. J 3.4(b)}] \quad [J 27]$$

$$l_{eff,a} = 2\pi m \quad [\text{vedere fig. J 3.4(c)}] \quad [J 28]$$

(b) per bulloni d'estremità:

$$l_{eff,b} = 0,5p + 2m + 0,625e \quad [\text{vedere fig. J 3.4(a)}] \quad [J 29]$$

$$l_{eff,b} = 4m + 1,25e \quad [\text{vedere fig. J 3.4(b)}] \quad [J 30]$$

$$l_{eff,b} = 2\pi m \quad [\text{vedere fig. J 3.4(c)}] \quad [J 31]$$

- P(3) Quando la tensione normale di compressione $\sigma_{n,Ed}$ nell'ala della colonna, dovuta alla forza assiale ed al momento flettente nella colonna, supera 180 N/mm^2 in corrispondenza della zona di trazione, è consentito che l'eventuale riduzione della resistenza flessionale di progetto al momento dell'ala della colonna si ottenga moltiplicando il valore di $M_{pl,Rd}$ in J 3.3(3) per un coefficiente k_r di riduzione ottenuto nel modo seguente:

- quando è $\sigma_{n,Ed} \leq 180 \text{ N/mm}^2$:

$$k_r = 1$$

- quando è $180 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{n,Ed} \leq f_y$:

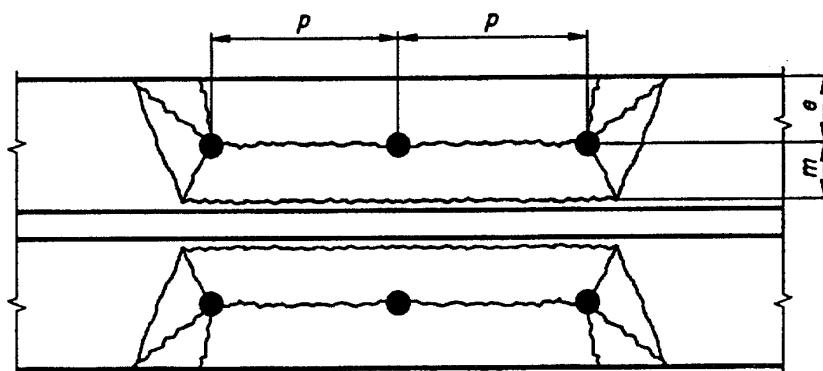
$$k_r = \frac{2f_y - 180 - \sigma_{n,Ed}}{2f_y - 360} \quad \text{ma } k_r \leq 1$$

[J 32]

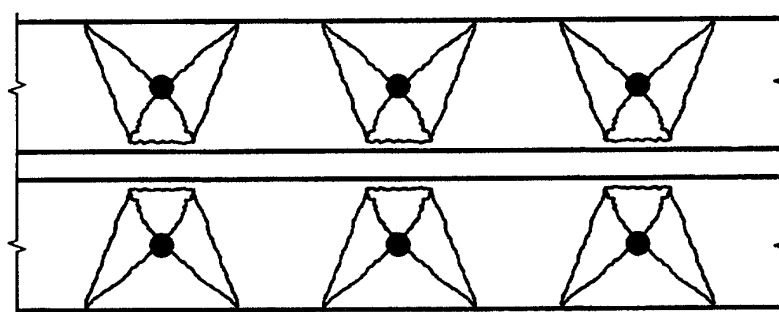
dove:

$\sigma_{n.Ed}$ e f_y sono in N/mm^2 .

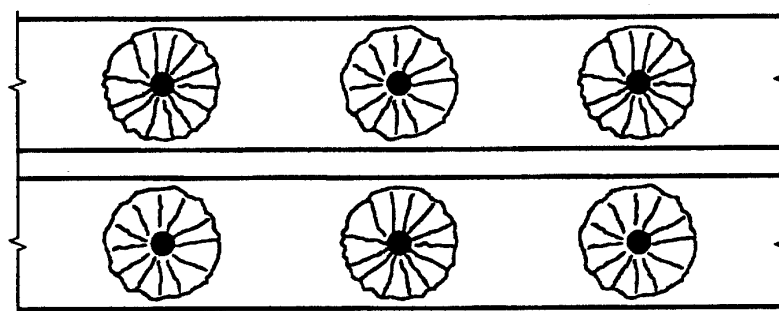
- P(4) Il modo di collasso e la resistenza massima di progetto devono essere determinate considerando tutte le righe di bulloni nella zona di trazione come un unico gruppo che agisca tutto insieme in un singolo elemento a T equivalente.
- P(5) A questo scopo, si deve supporre che l'elemento a T equivalente sia in equilibrio con un altro elemento a T simile. Si deve usare il valore più basso di e tra quelli relativi all'ala della colonna e alla flangia d'estremità della trave per determinare n ma si deve usare il valore effettivo di e per l'ala della colonna per determinare l_{eff} .
- P(6) Si deve determinare, come descritto in J 3.4.5, la resistenza efficace reale di progetto per ciascuna riga di bulloni, tenendo conto della compatibilità in termini di forze con la zona di trazione della flangia d'estremità della trave.



(a) Meccanismo globale per il gruppo dei bulloni



(b) Meccanismi separati per ogni bullone



(c) Meccanismo per imbutimento

Fig. J 3.4 - Meccanismi di collasso plastico per un'ala non irrigidita

J 3.4.2. Ala di colonna con contropiastra

- P(1) Le ali di una colonna possono venire rinforzate aggiungendo contropiastre, come mostrato nella fig. J 3.5.
- P(2) La larghezza b_{bp} di una contropiastra non deve essere minore della distanza dall'orlo dell'ala all'estremo del raccordo con l'anima oppure alla saldatura a cordoni d'angolo.
- P(3) La lunghezza di una contropiastra non deve essere minore della lunghezza totale efficace relativa al meccanismo di collasso della zona di trazione del collegamento e deve essere tale che si estenda a ciascun estremo non meno di $2d$ oltre l'ultimo bullone.
- P(4) La resistenza a trazione di progetto di un'ala di colonna rinforzata con contropiastre deve essere presa uguale al minore dei valori associati alle tre modalità di collasso seguenti [vedere J 3.3(3)].

Modo 1: Meccanismo plastico completo del complesso ala contropiastra:

$$F_{t.Rd} = \frac{4 M_{pl.Rd} + 2 M_{bp.Rd}}{m} \quad [J 33]$$

Modo 2: Rottura dei bulloni con snervamento della sola ala:

$$F_{t.Rd} = \frac{2 M_{pl.Rd} + n \sum B_{t.Rd}}{m + n} \quad [J 23]$$

Modo 3: Rottura dei bulloni:

$$F_{t.Rd} = \sum B_{t.Rd} \quad [J 24]$$

dove:

$M_{bp.Rd}$ è il momento resistente di progetto di una contropiastra calcolato con la formula:

$$M_{bp.Rd} = \frac{0,25 l_{eff} t_{bp}^2 f_{y,bp}}{\gamma_{M0}} \quad [J 25]$$

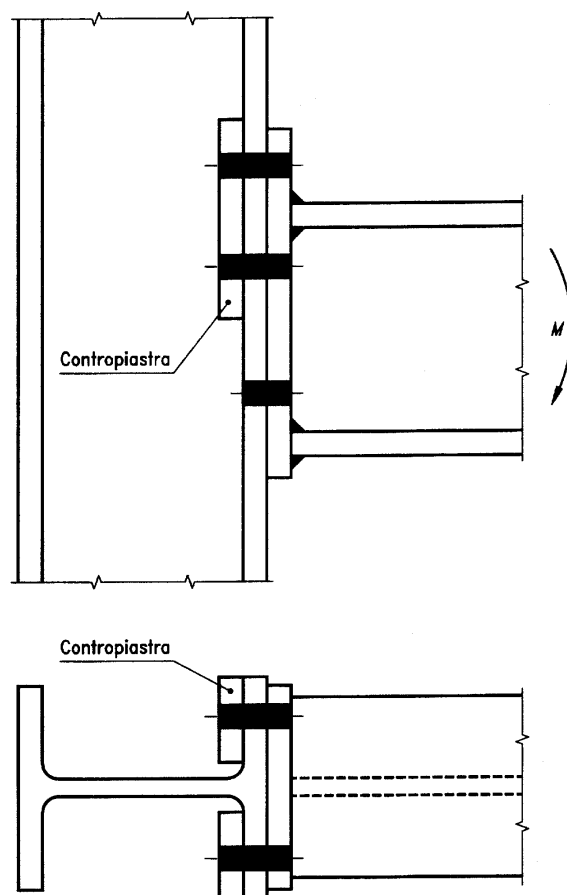


Fig. J 3.5 - Ala di colonna con contropiastra nella zona di trazione del collegamento

J 3.4.3. Ala di colonna irrigidita

- P(1) Si deve ritenere che la zona tesa di un'ala di colonna irrigidita si comporti come una serie di elementi a T equivalenti con una lunghezza totale uguale alla lunghezza totale efficace relativa alla distribuzione dei bulloni nella zona in trazione, come indicato nella fig. J 3.6.
- P(2) Si deve prendere, nei casi rispettivi, come lunghezza l_{eff} per ciascuna riga di bulloni il minore dei valori che seguono:
- (a) per bulloni adiacenti ad un irrigidimento:

$$l_{eff.a} = \alpha m \quad [J\ 35]$$

$$l_{eff.a} = 2\pi m \quad [J\ 28]$$
 - (b) per gli altri bulloni, se intermedi:

$$l_{eff.b} = p \quad [J\ 36]$$

$$l_{eff.b} = 4m + 1,25e \quad [J\ 30]$$

$$l_{eff.b} = 2\pi m \quad [J\ 31]$$
 - (c) per gli altri bulloni, se di estremità:

$$l_{eff.c} = 0,5p + 2m + 0,625e \quad [J\ 37]$$

$$l_{eff.c} = 4m + 1,25e \quad [J\ 38]$$

$$l_{eff.c} = 2\pi m \quad [J\ 39]$$
- dove il rapporto α viene ottenuto dalla fig. J 3.7.
- P(3) Quando la tensione normale di compressione nell'ala della colonna $\sigma_{n.Ed}$, dovuta alla forza assiale ed al momento flettente nella colonna, supera 180 N/mm^2 in corrispondenza della zona di trazione, si deve applicare il coefficiente di riduzione k_r come in J 3, 4,1(3).
- P(4) Si devono trattare i gruppi di righe di bulloni, a ciascun lato di un irrigidimento, come elementi a T equivalenti separati che possono sovrapporsi. Il modo di collasso e la resistenza massima di progetto vanno determinate separatamente per ciascuno di questi gruppi di righe di bulloni.
- P(5) A tale scopo si deve supporre che ciascun elemento a T equivalente sia in equilibrio con un altro elemento a T simile. Per determinare n si deve usare il minore tra i valori di e relativi all'ala della colonna e alla flangia di estremità della trave, ma per determinare l_{eff} si deve usare il valore effettivo di e per l'ala della colonna.
- P(6) Si deve determinare la resistenza efficace reale di progetto, come descritto in J 3.4.5, per ciascuna riga di bulloni, tenendo conto della compatibilità in termini di forze con la zona in trazione della flangia di estremità della trave.
- P(7) Gli irrigidimenti devono soddisfare i requisiti specificati in J 2.3.3(1).

J 3.4.4. Flangia di estremità

- P(1) Si deve supporre che la zona di trazione di un flangia di estremità di una trave si comporti come una serie di elementi a T equivalenti con una lunghezza totale uguale alla lunghezza totale efficace per la distribuzione dei bulloni nella zona tesa, secondo quanto indicato nella fig. J 3.8.
- P(2) Si deve prendere come lunghezza efficace l_{eff} per ciascuna riga di bulloni il minore dei valori che seguono per i rispettivi casi:
- (a) per bulloni esterni all'ala in trazione della trave:

$$l_{eff.a} = 0,5 b_p \quad [J\ 40]$$

$$l_{eff.a} = 0,5 w + 2 m_x + 0,625 e_x \quad [J\ 41]$$

$$l_{eff.a} = 4 m_x + 1,25 e_x \quad [J\ 42]$$

$$l_{eff.a} = 2\pi m_x \quad [J\ 43]$$
 - (b) per la prima riga di bulloni interna posta sotto l'ala in trazione:

$$l_{eff.b} = \alpha m \quad [J\ 44]$$

$$l_{eff.b} = 2\pi m \quad [J\ 31]$$
 - (c) per gli altri bulloni, se intermedi:

$$l_{eff.c} = p \quad [J\ 45]$$

$$l_{eff.c} = 4m + 1,25e \quad [J\ 38]$$

$$l_{eff.c} = 2\pi m \quad [J\ 39]$$

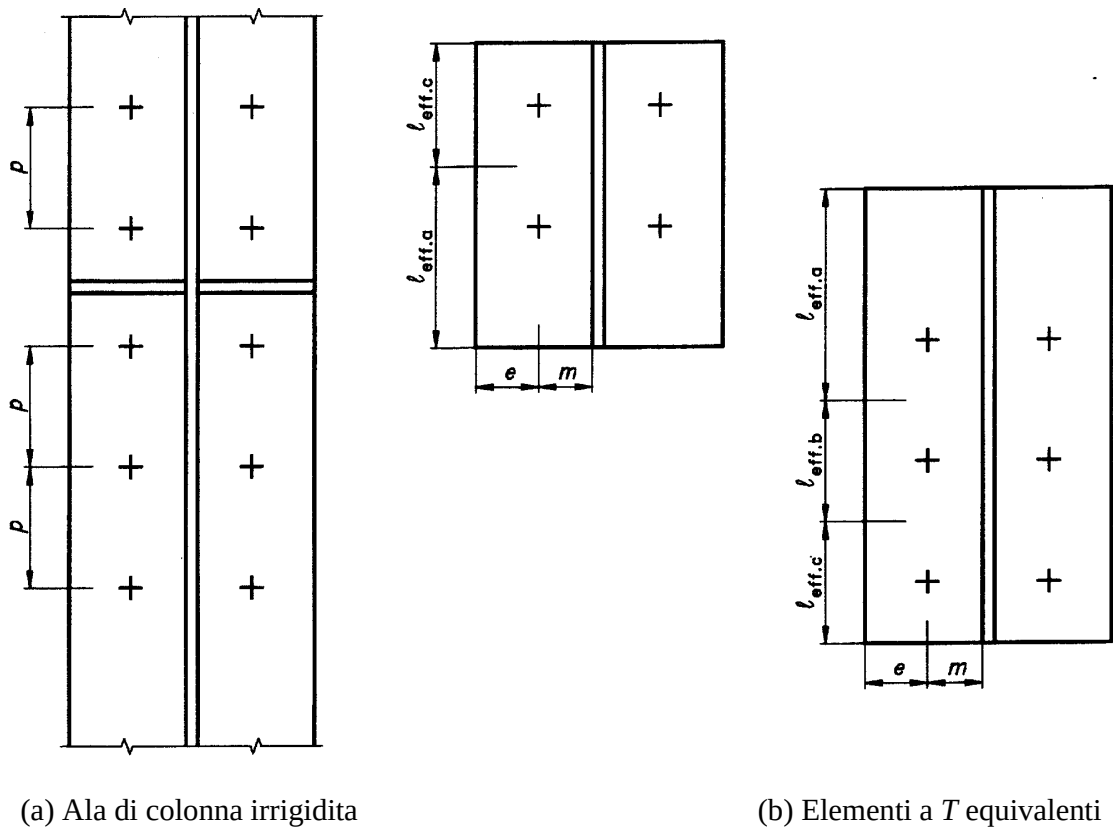


Fig. J 3.6 - Lunghezze efficaci delle ali di elementi a T equivalenti che rappresentano un'ala di colonna irrigidita

(d) per gli altri bulloni, se di estremità:

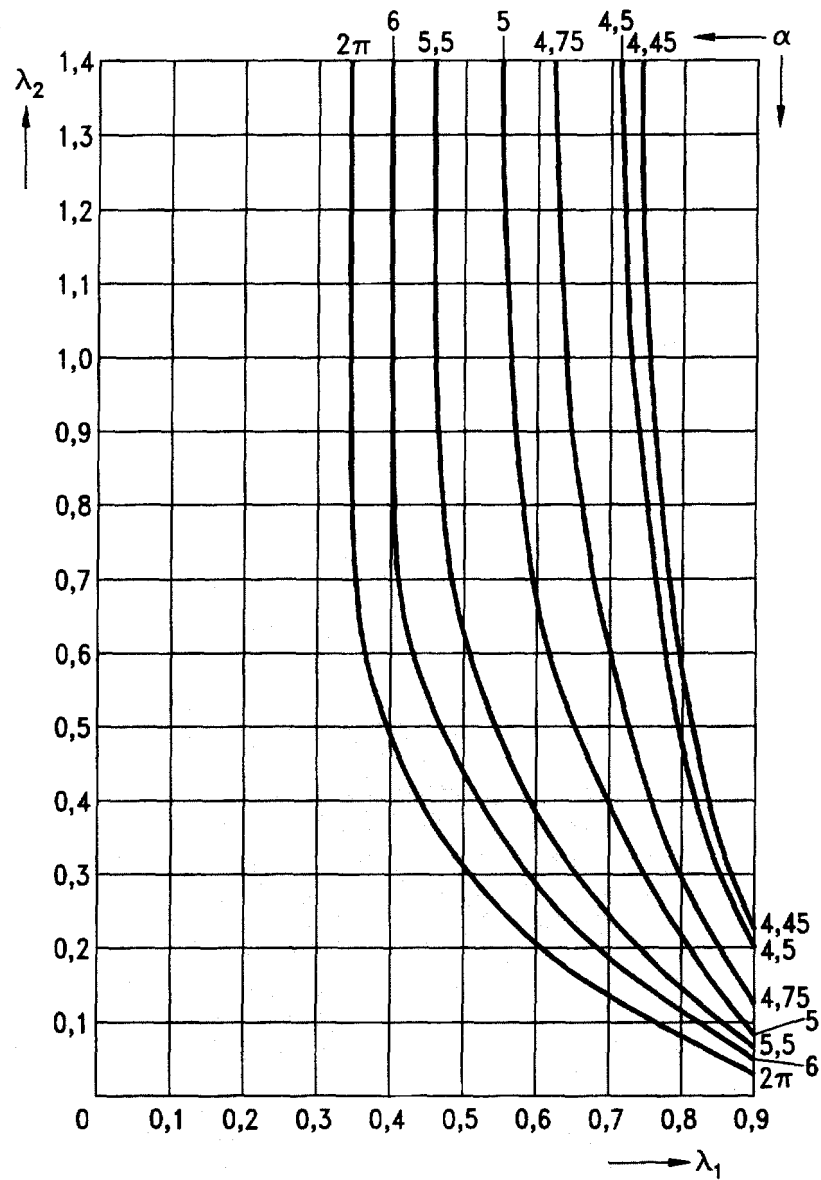
$$l_{eff.d} = 0,5 p + 2 m + 0,625 e \quad [J 46]$$

$$l_{eff.d} = 4 m + 1,25 e \quad [J 47]$$

$$l_{eff.d} = 2\pi m \quad [J 48]$$

dove il rapporto α viene ottenuto dalla fig. J 3.7.

- P(3) Si devono trattare i gruppi di righe di bulloni poste a ciascun lato di un irrigidimento qualsiasi, collegato alla flangia di estremità, come elementi a T equivalenti separati che possono sovrapporsi. Nelle flange estese, si devono trattare anche i gruppi di righe di bulloni, sopra e sotto l'ala in trazione della trave, come elementi a T equivalenti separati che possono sovrapporsi. Si devono determinare separatamente per ciascun gruppo di righe di bulloni il modo di collasso e la resistenza massima di progetto.
- P(4) A tale scopo, si deve supporre che ciascun elemento a T equivalente sia in equilibrio con un altro elemento a T simile. Per determinare n si deve usare il minore dei valori di e relativi alla flangia di estremità e all'ala della colonna, ma si deve usare il valore effettivo di e per la flangia di estremità per determinare l_{eff} .
- P(5) Si deve determinare, nel modo descritto in J 3.4.5, la resistenza efficace reale di progetto per ciascuna riga di bulloni, tenendo conto della compatibilità in termini di forze con la zona di trazione dell'ala della colonna.
- P(6) Per garantire che le saldature fra le ali della trave e la flangia di estremità abbiano una capacità di deformazione sufficiente, esse devono venire progettate per resistere agli effetti di un momento uguale al minore fra:
- il momento plastico di progetto della trave $M_{pl.Rd}$;
 - γ volte il momento resistente di progetto del collegamento.
- dove:
- $\gamma = 1,4$ per un telaio controventato [J 49]
- oppure:
- $\gamma = 1,7$ per un telaio non controventato [J 50]



$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e}$$

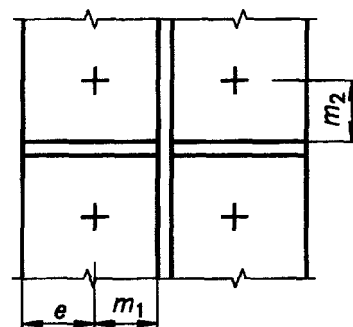
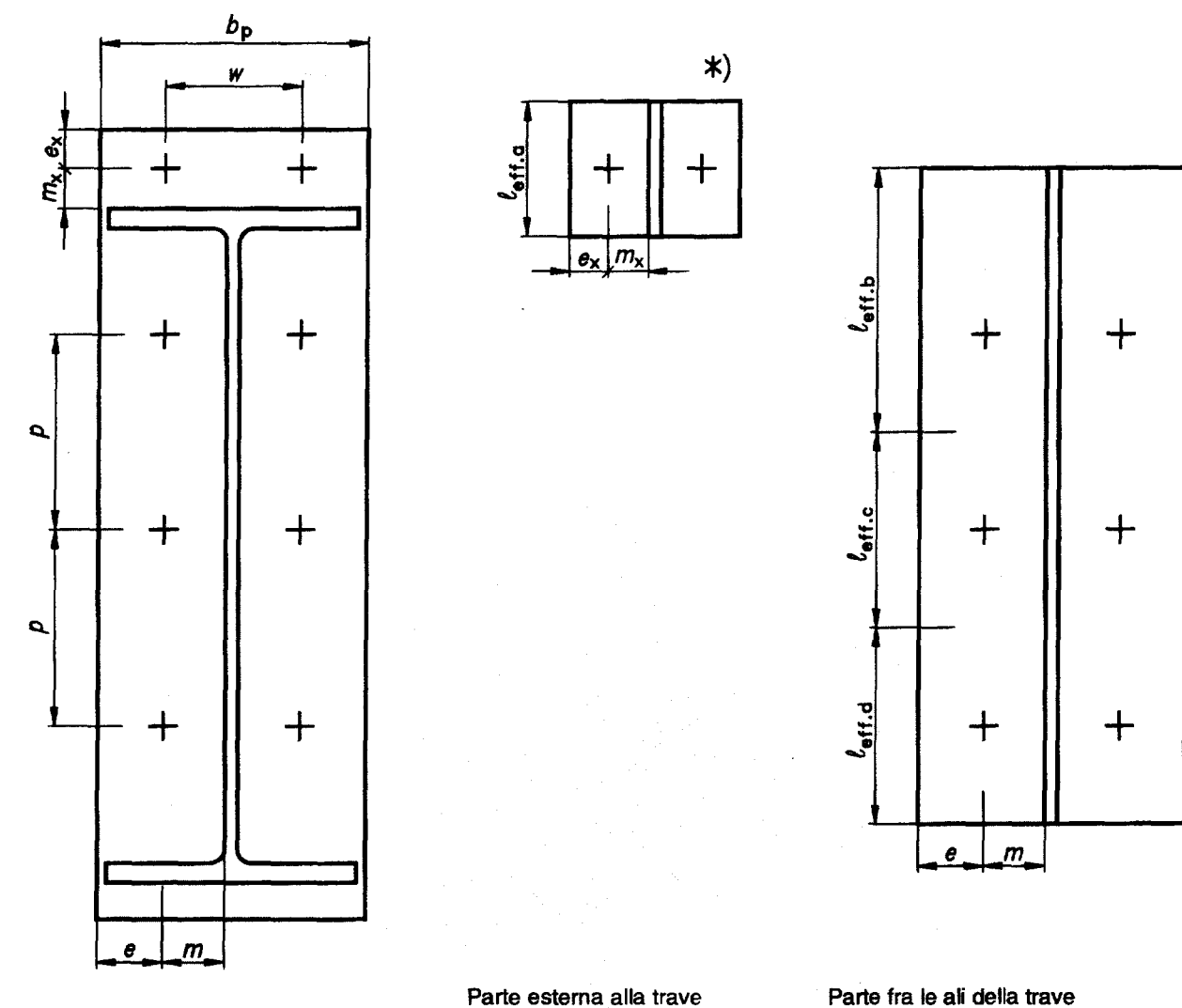
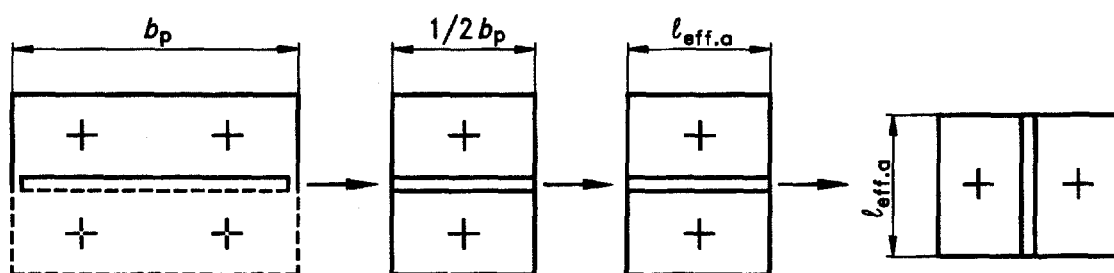


Fig. J 3.7 - Valori di α per ali di colonna irrigidite



(a) Flangia d'estremità

(b) Elementi a T equivalenti



*) Trasformazione della parte esterna alle ali della trave in elementi a T equivalenti

Fig. J 3.8 - Lunghezze efficaci delle ali di elementi a T equivalenti rappresentanti una flangia d'estremità

J 3.4.5. Resistenza efficaci di righe di bulloni

- P(1) La resistenza massima di progetto dell'ala di una colonna non è in generale uguale alla resistenza massima di progetto della flangia di estremità della trave.
- P(2) Per determinare la resistenza effettiva di progetto della zona in trazione, si deve ottenere una distribuzione compatibile delle forze delle righe di bulloni, nella quale, per ciascuna riga di bulloni, ci sia equilibrio fra i suoi contributi alle resistenze di progetto dell'ala della colonna e della flangia di estremità della trave.

P(3) Si devono ottenere le resistenze efficaci di progetto per le singole righe di bulloni usando il metodo di calcolo J 3.3.

P(4) Si può supporre che la resistenza efficace di progetto per ciascuna riga di bulloni agisca in corrispondenza della linea che congiunge i centri dei bulloni della riga.

J 3.4.6. Anima di colonna non irrigidita

P(1) La resistenza di progetto dell'anima di una colonna non irrigidita, soggetta a forza trasversale di trazione, è data da:

$$F_{t.Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad [J 9]$$

P(2) In un collegamento bullonato, si deve prendere la larghezza efficace per la verifica dell'anima della colonna a trazione uguale alla lunghezza efficace totale relativa alla distribuzione dei bulloni nella zona in trazione del collegamento, ottenuta da J 3.4.1.

P(3) Si può rinforzare un'anima di colonna non irrigidita aggiungendo un piatto di rinforzo in conformità con J 2.2; vedere J 2.3.2(4).

J 3.4.7. Anima di colonna irrigidita

P(1) La resistenza di progetto dell'anima di una colonna irrigidita, soggetta ad una forza trasversale di trazione, è almeno uguale alla resistenza di progetto dell'ala della trave, purché gli irrigidimenti soddisfino ai requisiti specificati in J 2.3.3(1).

Metodo di calcolo J 3.3 Resistenza efficace di progetto delle righe di bulloni	
(1)	Si ricalcoli la resistenza efficace di progetto dell'ala della colonna, omettendo in successione la riga di bulloni più bassa. Per un'ala di colonna irrigidita, si ricalcoli la resistenza di progetto separatamente per ciascun gruppo di righe di bulloni.
(2)	Si ricalcoli la resistenza di progetto di ciascun gruppo di righe di bulloni nella flangia di estremità della trave, omettendo in successione la riga di bulloni più bassa.
(3)	Si prenda la riduzione nella resistenza dovuta alla omissione di una riga di bulloni nei passi (1) e (2) come il suo contributo alla resistenza totale di progetto dell'ala oppure della flangia di estremità.
(4)	Per ciascuna riga di bulloni, si determini la differenza fra le resistenze di progetto dell'ala di colonna e della flangia di estremità della trave, ottenute nel passo (3).
(5)	A partire dalla riga di bulloni più alta, si ridistribuiscono i valori di resistenza ottenuti nel passo (3) per minimizzare le differenze trovate nel passo (4), purché: - la resistenza sia ridistribuita solo entro lo stesso gruppo di righe di bulloni (cioè non dopo un'ala oppure un irrigidimento); - la resistenza per una qualsiasi singola riga di bulloni sia limitata a quella ottenuta usando una lunghezza efficace pari al minore fra $4 m + 1,25e$ e $2\pi m$.
(6)	Si riducano i valori ottenuti dal passo (5) per ottenere equilibrio fra le resistenze di progetto dell'ala della colonna e della flangia di estremità della trave.
(7)	Si adottino i valori ottenuti dal passo (6) come resistenze efficaci di progetto per le singole righe di bulloni.

J 3.5. Resistenza della zona di compressione

J 3.5.1. Anima di colonna non irrigidita

P(1) La resistenza di progetto allo schiacciamento di un'anima di colonna non irrigidita, soggetta ad una forza trasversale di compressione, è data da:

$$F_{c.Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} \left[1,25 - \frac{0,5 \gamma_{M0} \sigma_{n.Ed}}{f_{yc}} \right] b_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad [J 15]$$

$$\text{ma: } F_{c,Rd} \leq \frac{f_{yc} t_{wc} b_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad [\text{J } 16]$$

dove:

$\sigma_{n.Ed}$ è la tensione normale massima di compressione nell'anima della colonna dovuta a forza assiale e flessione.

P(2) In un collegamento bullonato, la larghezza efficace dell'anima della colonna soggetta a compressione, è data da:

- per un profilo laminato ad I oppure ad H :

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 2 t_p + 5 (t_{fc} + r_c) \quad [\text{J } 51]$$

- per un profilo saldato ad I oppure ad H :

$$b_{eff} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 2 t_p + 5 (t_{fc} + \sqrt{2} a_c) \quad [\text{J } 52]$$

P(3) Inoltre si deve verificare, secondo le prescrizioni date in 5.7.5, la resistenza dell'anima della colonna a instabilità secondo un comportamento "a colonna", come indicato nella fig. J 2.4.

P(4) Il modo "a nodi spostabili", mostrato nella fig. J 2.4(b), deve venire impedito mediante opportuni ritegni.

P(5) L'anima di una colonna non irrigidita può venire rinforzata mediante un piatto in conformità con J 2.2; vedere J 2.4.1(6).

J 3.5.2. Anima di colonna irrigidita

P(1) La resistenza di progetto di un'anima di colonna irrigidita, soggetta ad una forza trasversale di compressione, è uguale almeno alla resistenza di progetto dell'ala della trave, purché gli irrigidimenti soddisfino ai requisiti specificati in J 2.3.3(1).

J 3.6. Resistenza della zona soggetta a taglio

J 3.6.1. Pannello d'anima di colonna non irrigidito

P(1) La resistenza plastica di progetto a taglio di un pannello di anima di colonna non irrigidito, soggetto a forza di taglio (vedere fig. J 2.5), è data da:

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_{yc} A_v / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad [\text{J } 17]$$

dove:

A_v è l'area di taglio della colonna, secondo 5.4.6(2).

P(2) Inoltre si deve controllare la resistenza all'instabilità per taglio; vedere 5.4.6(7).

P(3) Un'anima di colonna non irrigidita può venire rinforzata mediante un piatto in conformità con J 2.2.

P(4) Nel calcolare la resistenza di progetto a taglio di un pannello d'anima con un piatto di rinforzo, la sua area di taglio A_v può venire aumentata di $b_s t_{wc}$. Non si devono fare ulteriori incrementi di A_v se vengono aggiunti piatti di rinforzo da entrambi i lati dell'anima.

J 3.6.2. Pannello di anima di colonna irrigidito

P(1) Quando vengono usati irrigidimenti diagonali d'anima (vedere la fig. J 2.6) per aumentare la resistenza a taglio di un'anima di colonna, questi devono venire progettati per resistere alle forze di tensione e di compressione trasmesse alla colonna dalle ali delle travi.

P(2) Si devono progettare le saldature fra gli irrigidimenti e le ali della colonna in modo da resistere alle forze negli irrigidimenti.

P(3) Le saldature fra irrigidimenti e l'anima della colonna non devono venire dimensionate per rispondere a requisiti statici.

J 3.7. Rigidezza rotazionale

P(1) La rigidezza rotazionale di un collegamento trave-colonna bullonato con flangia di estremità può venire determinata in modo approssimato mediante la formula:

$$S_j = \frac{E h_1^2 t_{wc}}{\sum \frac{\mu_i}{k_i} \left[\frac{F_i}{F_{i.Rd}} \right]^2} \quad [J 53]$$

dove:

S_j è la rigidezza secante relativa ad un particolare valore M del momento nel collegamento ($M \leq M_{Rd}$);

M_{Rd} è il momento resistente di progetto del collegamento;

h_1 è la distanza della prima riga di bulloni sotto l'ala tesa della trave dal centro di resistenza della zona di compressione, eccetto nel caso indicato in (8);

μ_i è un coefficiente correttivo; vedere (5) e (6) più sotto;

k_i è il coefficiente di rigidezza per il componente i , vedere da (2) a (4);

F_i è la forza nel componente i del collegamento dovuta al momento M ;

$F_{i.Rd}$ è la resistenza di progetto dei componenti i del collegamento. Per i componenti da 2 a 6 il valore di F_i non deve essere minore di $F_{i.Rd}/1,5$.

P(2) In un collegamento non irrigidito, i coefficienti di rigidezza k_i devono essere presi nel modo seguente:

- anima della colonna, zona a taglio $k_1 = 0,24$
 - anima della colonna, zona di trazione $k_2 = 0,8$
 - anima della colonna, zona di compressione $k_3 = 0,8$
 - ala della colonna, zona di trazione $k_4 = \frac{t_{fc}^3}{4 m^2 t_{wc}}$
 - bulloni, zona di trazione $k_5 = \frac{2 A_s}{l_b t_{wc}}$
 - flangia di estremità, zona di trazione $k_6 = \frac{t_e^3}{12 \lambda_2 m^2 t_{wc}}$
- ma $k_6 \geq \frac{t_e^3}{4 m^2 t_{wc}}$

dove:

l_b è la lunghezza utile del bullone, che può essere presa come lunghezza totale di presa (spessore del materiale più rosette) più metà della somma dell'altezza della testa del bullone e dell'altezza del dado;

λ_2 è definito nella fig. J 3.7.

P(3) Se la colonna ha un irrigidimento nella zona di trazione:

$$k_4 = \frac{t_{fc}^3}{12 \lambda_2 m^2 t_{wc}} \quad \text{ma} \quad k_4 \geq \frac{t_{fc}^3}{4 m^2 t_{wc}}$$

P(4) Per qualsiasi altro componente irrigidito, il relativo coefficiente di rigidezza deve essere preso uguale ad infinito.

P(5) Per $i = 1, 2$ oppure 3, il coefficiente correttivo μ_i deve essere preso uguale ad 1.

P(6) Per $i = 4, 5$ oppure 6, il coefficiente correttivo μ_i deve essere ottenuto come:

$$\mu_1 = \frac{h_1 F_{1.Rd}}{M_{Rd}}$$

dove:

$F_{1.Rd}$ è la forza nella prima linea di bulloni sotto l'ala tesa della trave corrispondente al momento resistente di progetto M_{Rd} , tranne per quanto indicato in (8).

P(7) In un collegamento con flangia di estremità estesa, si deve calcolare la rigidezza rotazionale S_{je} , tenendo conto della parte esterna alla trave della flangia e si deve adottare il maggiore fra i due valori S_j e S_{je} come rigidezza rotazionale del collegamento.

P(8) Quando si calcoli S_{je} , la distanza h_1 deve essere misurata dalla linea di bulloni nella parte esterna della flangia al centro di resistenza della zona di compressione e si deve prendere

$F_{1.Rd}$ come la forza in quella linea di bulloni che corrisponde a M_{Rd} . Il coefficiente di rigidità k_6 si deve prendere pari a:

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

dove:

m_x è definito nella fig. J 3.8.

- P(9) Si può assumere che un collegamento bullonato con flangia di estremità sia un collegamento rigido quando siano soddisfatte entrambe le condizioni seguenti:
- (a) la colonna ha irrigidimenti d'anima sia nella zona di trazione sia nella zona di compressione;
 - (b) il momento resistente viene determinato usando il metodo J 3.2.

J 3.8. Capacità di rotazione

- P(1) Si può assumere che un collegamento bullonato trave-colonna, nel quale la resistenza al momento sia governata dalla resistenza della zona soggetta a taglio, abbia capacità adeguata di rotazione per l'analisi plastica.
- P(2) Si può assumere che un collegamento bullonato trave-colonna, nel quale la resistenza al momento sia governata dalla resistenza della zona di trazione, abbia capacità adeguata di rotazione per l'analisi plastica, se è disponibile una adeguata capacità di deformazione nella zona di trazione, nell'ala della colonna oppure nella flangia di estremità della trave.
- P(3) Si può assumere che il criterio dato in (2) sia soddisfatto se, per ciascuna riga di bulloni, la resistenza di almeno un componente (ala di colonna o flangia di estremità) sia governata dal modo 1 di collasso; vedere J 3.3. Questa condizione è soddisfatta se, per ogni riga di bulloni, qualsiasi componente che da il valore minore di β , soddisfi pure il criterio:

$$\beta \leq \frac{2 \lambda}{1 + 2 \lambda} \quad [J 54]$$

dove:

β e λ sono definiti in J 3.3(4).

- P(4) Se la resistenza è associata al modo 2 di collasso, cioè se il valore minore di β soddisfa l'equazione:

$$\frac{2 \lambda}{1 + 2 \lambda} < \beta < 2 \quad [J 55]$$

allora la capacità ϕ_{Cd} di rotazione può essere ottenuta dalla:

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \beta_{cr}}{1,3 h_1} \quad [J 56]$$

dove:

h_1 è la distanza (in millimetri) fra la prima riga di bulloni sotto l'ala tesa della trave ed il centro di resistenza della zona di compressione, fatta eccezione per quanto indicato in (5);

β_{cr} è il valore di β per il componente con il valore minore di $F_{t.Rd}/\Sigma B_{t.Rd}$ [vedere J 3.3(4)].

- P(5) I criteri dati da (2) a (4) si applicano anche a collegamenti con flangia di estremità estesa, purché l'estensione della flangia abbia capacità di deformazione sufficiente. Si può supporre che questa condizione sia soddisfatta se il collasso dell'estensione della flangia avviene secondo il modo 1. In un collegamento con flangia di estremità estesa, la distanza h_1 nell'equazione [J 56] deve essere misurata dalla riga di bulloni nell'estensione al centro di resistenza della zona di compressione, ma si deve escludere l'estensione della flangia nella determinazione di β_{cr} .
- P(6) Tranne il caso in cui il collegamento è classificato come a completo ripristino di resistenza (secondo 6.4.3.2), il valore più basso di β non deve essere maggiore di 1,8.