

ECCS

**Equaljoints PLUS**  
**Documento pre-normativo e linee guida per il**  
**progetto sismico dei nodi trave-colonna**  
**prequalificati**

1<sup>st</sup> Edition, 2018

**Raffaele Landolfo**  
**Mario D'Aniello**  
**Roberto Tartaglia**  
**Silvia Costanzo**  
**Jean-François Demonceau**  
**Jean-Pierre Jaspart**  
**Aurel Stratan**  
**Dominiq Jaka**  
**Dan Dubina,**  
**Ahmed Elghazouli**  
**Dan Bompa**

**ECCS**  
**CECM**  
**E K S**



**Documento pre-normativo e linee guida  
per il progetto sismico dei nodi trave-  
colonna prequalificati**

**N°XXX, I Edizione, 2008**

**Pubblicato da:**

ECCS – European Convention for Constructional  
Steelwork

publications@steelconstruct.com

www.eccspublications.eu

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa  
pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in un  
sistema di recupero o trasmessa in qualsiasi forma o  
con qualsiasi mezzo, elettronico, meccanico, fotocopia,  
o altro, senza previa autorizzazione del proprietario del  
copyright

ECCS non si assume alcuna responsabilità in merito a  
qualsiasi impiego del materiale e delle informazioni  
contenute in questa pubblicazione.

**Copyright © 2008 ECCS** – European Convention for  
Constructional Steelwork

**ISBN:** XX-XXXX-XXX-XX

**Stampato a**

**Copertina**

## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE</b>                              | <b>1</b>  |
| <b>2. REQUISITI TECNOLOGICI</b>                     | <b>3</b>  |
| <b>3. CARATTERIZZAZIONE DEI NODI PREQUALIFICATI</b> | <b>5</b>  |
| 3.1 Livelli prestazionali                           | 5         |
| 3.2 Ulteriori ipotesi di progetto                   | 10        |
| 3.3 Nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore  | 11        |
| 3.4 Nodi flangiati irrigiditi                       | 21        |
| 3.5 Nodi flangiati non irrigiditi                   | 35        |
| 3.6 Nodi Dog-Bone                                   | 49        |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                 | <b>53</b> |



## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento è stato redatto nell'ambito del progetto europeo RFCS Equaljoints PLUS (754048 — EQUALJOINTS-PLUS — RFCS-2016/RFCS-2016). Si tratta di un progetto di 24 mesi, il cui obiettivo è quello di valorizzare e promuovere le conoscenze acquisite e i prodotti della ricerca svolta nel precedente progetto di ricerca europeo RFCS EQUALJOINTS (RFSR-CT-2013-00021), della durata di 36 mesi, rivolto alla prequalificazione sismica europea di un gruppo di nodi trave-colonna in acciaio.

Equaljoints PLUS nasce dalla volontà di valorizzare, promuovere ed estendere i criteri di pre-qualificazione sismica, favorendone l'applicazione e la diffusione verso un ampio pubblico (i.e. istituzioni accademiche, progettisti, industria delle costruzioni e produttori di carpenteria metallica).

I principali obiettivi del progetto possono essere riassunti come segue:

- Redigere e organizzare materiale informativo sulle quattro tipologie di nodi prequalificati in 12 lingue diverse (Inglese, spagnola, francese, tedesca, italiana, olandese, portoghese, ceca, bulgara, rumena, greca, slovena).
- Redigere line-guida prenormative per il progetto sismico dei nodi prequalificati in 12 lingue.
- Redigere line-guida per il progetto di telai in acciaio considerando l'influenza del comportamento momento-rotazionale nei nodi trave-colonna.
- Sviluppare un software e un'applicazione per la predizione del comportamento non lineare dei nodi.
- Organizzare seminari e workshop europei ed internazionali per promuovere i risultati conseguiti.
- Creare un sito web per promuovere i risultati conseguiti.
- Creare un canale You-Tube per condividere i video delle prove sperimentali condotte.

Il progetto Equaljoints PLUS è coordinato dall'Università degli Studi di Napoli Federico II (responsabile Prof. Ing. R. Landolfo). Il Consorzio è costituito da 15 partner, 7 dei quali precedentemente coinvolti nel progetto di ricerca Equaljoints. I partners del progetto sono elencati nella seguente tabella:

---

## ***Equaljoitns PLUS - Consorzio***

---

|  |  |   |
|--|--|---|
| Coordinatore   | Università degli Studi di Napoli Federico II (UNINA)       |   |
|  | Arcelormittal Belval & Differdange SA (AM)                 |   |
|  | Universite de Liege (Ulg)                                  |   |
|  | Universitatea Politehnica Timisoara (UPT)                  |   |
|  | Universidade de Coimbra (UC)                               |   |
|  | Convention Europeenne de la Construction Metallique (ECCS) |   |
|  | Universita degli Studi di Salerno (UNISA)                  |   |
|  | Imperial College of Science Technology and Medicine (IC)   |   |
|  | Partners   | Centre Technique Industriel de la Construction Metallique (CTICM) |
|  |  | National Technical University of Athens (NTUA)                    |
| Ceske Vysoke Uceni Technicke V Praze (CVUT)                  |  |   |
| Technische Universiteit Delft (TUD)                          |  |   |
| Univerza V Ljubljani (UL)                                    |  |   |
| Universitet Po Arhitektura Stroitelstvo I Geodezija (UASG)   |  |   |
| Universitat Politecnica de Catalunya (UPC)                   |  |   |
| Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen (RWTHA) |  |   |

---

Il presente documento contiene le linee guida per il progetto sismico delle tre tipologie di nodi bullonati prequalificati nell'ambito del progetto Equaljoints (i.e. (i) nodi flangiati irrigiditi con costolatura d'ala inferiore, (ii) nodi flangiati irrigiditi, (iii) nodi flangiati non irrigiditi) e di nodi saldati tipo dogbone. Nel dettaglio, il documento fornisce le seguenti informazioni:

- Requisiti tecnologici
- Descrizione delle tipologie di nodo e configurazioni prequalificate
- Lista dei sistemi strutturali per cui i nodi sono prequalificati
- Limiti di applicazione
- Procedura di progetto

## 2. Requisiti tecnologici

La costruzione di una struttura segue diverse fasi, ognuna delle quali deve essere attentamente considerata. Le opportune considerazioni vanno fatte nelle strutture che possono essere soggette ad azioni sismiche durante la loro vita utile. I collegamenti tra elementi in acciaio in questo tipo di strutture dovrebbero essere sempre progettati, fabbricati e costruiti in modo tale da evitare rotture di tipo fragile favorendo meccanismi di collasso di tipo duttile.

I progettisti devono sempre tenere a mente i requisiti di progettazione stabiliti dagli standard di progettazione pertinenti. In Europa, per la progettazione sismica delle strutture è necessario osservare la EN1998, con riferimento alla EN1993 per la progettazione di strutture in acciaio ed alla EN1993-1-8 per la progettazione di collegamenti in acciaio.

EN1993-1-8 definisce tutti i parametri più rilevanti per la progettazione delle connessioni rispetto alla loro resistenza e rigidità. I collegamenti possono essere saldati, bullonati o possono essere utilizzate combinazioni di bulloni e saldature.

Le connessioni bullonate devono essere progettate in conformità alla EN1993-1-8, parte 3. La tabella 3.1 della norma definisce le classi di bulloni e la loro resa nominale e le sollecitazioni finali. La tabella 3.3 dello stesso documento stabilisce le distanze minima e massima di estremità e tra i bulloni per garantire una sufficiente capacità portante. I collegamenti sono progettati seguendo il cosiddetto metodo delle componenti. Quando si calcolano le capacità di ciascuna componente, il criterio di progetto è finalizzato ad un collasso di tipo duttile.

I criteri di progettazione per i collegamenti saldati sono descritti nella EN1993-1-8, parte 4. Nella progettazione sismica, le saldature sono solitamente progettate per essere completamente resistenti e quindi evitare il collasso della saldatura (modalità di rottura fragile).

Quando si specificano i materiali e le dimensioni, l'ingegnere deve sempre considerare le dimensioni standard degli elementi disponibili e le caratteristiche degli elementi grezzi. Ad esempio, il produttore può produrre lastre standard di spessore 10 o 12 mm, i progettisti non dovrebbero richiedere lastre spesse 11mm, al fine di evitare il più possibile processi di lavorazione non necessari.

La resistenza del materiale e le proprietà sono riportate nella EN 1993 1-10. La norma EN 1993 1-10 contiene le linee guida per la scelta della resistenza a frattura dell'acciaio e dello spessore del materiale d'apporto della saldatura dove esiste un rischio significativo di strappo lamellare durante la fabbricazione, per costruzioni eseguite secondo la norma EN 1090 2.

Le indicazioni fornite nella parte 2 della EN 1993 1-10 devono essere utilizzate per la selezione del materiale per le nuove costruzioni. Esse devono essere utilizzate

per selezionare un tipo di acciaio adatto secondo le Norme europee seguendo i prodotti elencati nella EN 1993 1-1.

La Classe di Qualità deve essere selezionata sulla base della tabella 3.1 EN 1993 1-10 considerando l'effetto dello strappo lamellare.

A seconda della Classe di Qualità, selezionata dalla tabella 3.1, le proprietà del materiale d'apporto per la saldatura devono seguire la norma EN 10164, altrimenti è necessario ricorrere ad una ispezione post-fabbricazione per identificare se si è verificato o meno uno strappo lamellare.

Le linee guida per evitare gli strappi lamellari durante la saldatura sono fornite nella EN 1011 2.

Si può decidere, se opportuno, di seguire la normativa nazionale secondo quanto consentito da alcune clausole elencate nella prefazione alla EN 1993 1-10.

I progettisti e i produttori devono collaborare strettamente per garantire l'accuratezza e la chiarezza dei disegni. A volte, il progettista non riesce a riconoscere le situazioni in cui ciò che è stato disegnato non può essere effettivamente eseguito, ad esempio a causa della mancanza di spazio adeguato per la saldatura. Spesso sono necessari diversi incontri prima che entrambe le parti siano convinte che la rappresentazione grafica del progetto sia corretta e possa essere fabbricata.

La fabbricazione degli elementi, compreso il montaggio, il trasporto e la costruzione sul posto, deve essere gestita con cura per garantire che la qualità finale della struttura sia appropriata.

Le strutture devono essere eseguite in conformità con gli standard di esecuzione pertinenti, vale a dire EN1090-2 in Europa e AISC 303-10 negli Stati Uniti, che stabiliscono requisiti minimi di qualità. Sulla base dell'esperienza, alcuni costruttori possono scegliere di superare questi requisiti e quindi evitare problemi noti che si verificano spesso durante la costruzione in situ.

### 3. Caratterizzazione dei nodi prequalificati

#### 3.1. Livelli prestazionali e obiettivi di progetto.

Criterio di resistenza: in accordo all'EC8 il progetto delle strutture in acciaio in zona sismica si basa sul concetto di sistema dissipativo, ossia un sistema in cui si accetta il danneggiamento controllato di alcune zone della struttura (progettate per garantire ampie escursioni di deformazione in campo plastico) al fine di dissipare l'energia sismica di input, mentre tutti gli altri elementi sono progettati per rimanere in campo elastico. Pertanto, in accordo a specifici criteri di gerarchia delle resistenze, le zone non-dissipative sono progettate per resistere alla massima forza trasmessa dagli elementi dissipativi collegati.

I criteri di progetto sviluppati nell'ambito del progetto Equaljoints sono rivolti ad armonizzare i requisiti di gerarchia delle resistenze tra le macro-componenti che costituiscono il nodo (pannello nodale, organo di connessione, trave e colonna) e le relative sub-componenti (piastra d'estremità, bulloni, saldature, etc). In dettaglio, in accordo alla procedura di progetto sviluppata, il nodo è considerato come costituito da tre macro-componenti (pannello nodale, organo di connessione, trave e colonna, vedi Figura 3.1); ogni macro-componente è progettata singolarmente in accordo a ipotesi specifiche, e semplici criteri di gerarchia delle resistenze vengono applicati per ottenere tre differenti livelli prestazionali, definiti confrontando la resistenza del nodo (i.e. pannello nodale + connessione) con la capacità flessionale della trave connessa, come: (i) a completo ripristino di resistenza; (ii) nodi bilanciati; (iii) a parziale ripristino di resistenza.

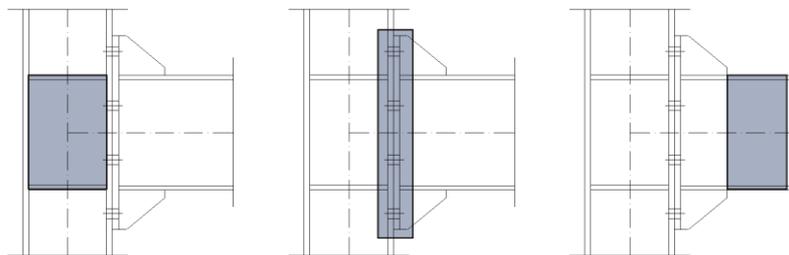


Figura 3.1 Zone plastiche per i livelli prestazionali esaminati: a) pannello nodale; b) organo di connessione; c) trave

I livelli prestazionali possono essere definiti come segue:

- (i) Connessioni a completo ripristino di resistenza sono progettati per garantire che le deformazioni plastiche si concentrino esclusivamente nella trave, coerentemente con il meccanismo colonna forte-trave debole raccomandato dall'EC8.

- (ii) Nodi bilanciati sono teoricamente caratterizzati dallo snervamento simultaneo di tutte le macro-componenti (i.e. organo di connessione, in alcuni casi pannello nodale, trave).
- (ii) Connessioni a parziale ripristino di resistenza sono progettati per concentrare le deformazioni plastiche nella zona di connessione (e in alcuni casi nel pannello nodale) e non nella trave.

E' opportuno specificare che né l'EC3 né l'EC8 attualmente considerano il caso dei nodi bilanciati, che sono proposti nell'ambito del progetto come livello prestazionale intermedio. In accordo alla classificazione attualmente codificata nell'EC3, un nodo bilanciato ricade nella categoria dei nodi a parziale ripristino di resistenza. L'impegno plastico maggiore nelle applicazioni sismiche è quello dell'estremità della trave. Il momento agente alla faccia della colonna può essere determinato in funzione della posizione della cerniera plastica, dell'incrudimento e della tensione di snervamento come:

$$M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot s_h)$$

Eq. (3.1)

Dove  $M_{con,Ed}$  è il momento di progetto alla faccia della colonna;  $\alpha$  dipende dal livello prestazionale: è pari a  $\gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$  per le connessioni a completo ripristino (dove  $\gamma_{ov}$  è il coefficiente di aleatorietà del materiale e  $\gamma_{sh}$  è il fattore di incrudimento, corrispondente al rapporto tra il momento ultimo e il momento plastico della trave); è pari a 1 per i nodi bilanciati; è minore di uno per le connessioni a parziale ripristino di resistenza. Per evitare eccessiva concentrazione di danno nella zona di connessione, il valore di  $\alpha$  per le connessioni a parziale ripristino si assume uguale a 0.6 o 0.8.  $M_{B,Rd}$  è la resistenza plastica a flessione della trave connessa,  $s_h$  è la distanza tra la faccia della colonna e la cerniera plastica nella trave connessa (ossia pari alla distanza tra la faccia della colonna e l'estremità dell'irrigidimento per i nodi flangiati irrigiditi o i nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore, e pari a zero per i nodi non irrigiditi);  $V_{B,Ed}$  è il taglio che corrisponde alla formazione della cerniera plastica nella trave, dato da:

$$V_{B,Ed} = V_{B,Ed,M} + V_{B,Ed,G}$$

Eq. (3.2)

Dove  $V_{B,Ed,M}$  è il taglio dovuto alla formazione delle cerniera plastiche che si formano alle estremità della trave ad una distanza  $L_h$  e calcolato come:

$$V_{B,Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{B,Rd}}{L_h}$$

Eq. (3.3)

$V_{B,Ed,G}$  è il contributo dovuto ai carichi verticali (tale contributo non tiene conto della distanza tra la cerniera plastica e la faccia della colonna) e  $L_h$  è la distanza approssimativa tra le cerniere plastiche.

Per quanto concerne i fattori di sovreresistenza, sono necessarie ulteriori considerazioni:  $\gamma_{ov}$  è assunto pari a 1.25 come raccomandato dall'EC8. L'EN 1993:1-8 e l'EN 1998-1 forniscono valori diversi per il coefficiente di incrudimento  $\gamma_{sh}$ : l'EN1993:1-8 raccomanda di considerare un valore pari a 1.2 per i nodi a completo ripristino, mentre l'EN1998-1 assume un valore pari a 1.1. In letteratura sono disponibili numerose formulazioni empiriche per valutare la sovreresistenza flessionale delle travi in acciaio. Sulla base dei principali risultati ottenuti da Mazzolani and Piluso (1992), D'Aniello et al (2012), Güneysi et al (2013, 2014), si evince che il fattore  $\gamma_{sh}$  varia nell'intervallo 1.1-1.2 per i profili Europei comunemente utilizzati come travi (ad esempio IPE) e che pertanto assume un valore maggiore di quello raccomandato dall'EC8, ma in linea con quanto raccomandato dall'AISC 358-10 che fornisce la seguente espressione:

$$\gamma_{sh,AISC} = \frac{f_y + f_u}{2 \cdot f_y} \leq 1.20$$

Eq. (3.4)

Pertanto, in accordo alla procedura qui descritta,  $\gamma_{sh}$  si assume conservativamente pari a 1.20, anche alla luce delle caratteristiche di snervamento e ultime degli acciai dolci europei.

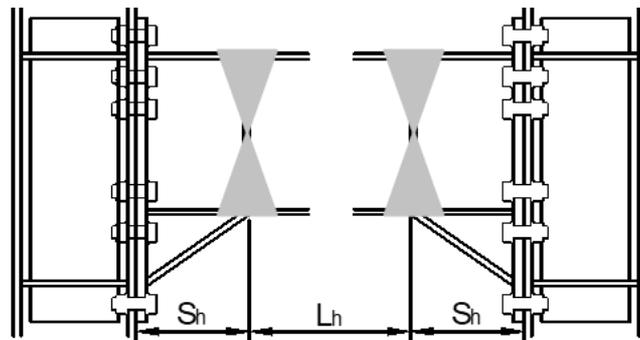


Figure 3.1 Posizione delle cerniere plastiche nei nodi flangiati irrigiditi e flangiati con costola d'ala inferiore

L'azione di taglio sul pannello nodale della colonna può essere determinata come:

$$V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot S_h) / z - V_{c,Ed}$$

Eq. (3.5)

dove

$V_{wp,Ed}$  è la forza di progetto agente sul pannello nodale;

$V_{c,Ed}$  è il taglio nella colonna

$z$  è il braccio di leva

$\alpha$  dipende dal livello prestazionale e può essere differente rispetto a quello assunto per il progetto della connessione.

In funzione del livello prestazionali, si devono verificare le seguenti disuguaglianze:

$$M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed}$$

Eq. (3.6)

$$V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$$

Eq. (3.7)

where:

$M_{con,Rd}$  è la capacità flessionale della connessione

$V_{wp,Rd}$  is è la resistenza a taglio del pannello nodale.

**criterio di duttilità:** La duttilità del nodo dipende dal tipo di meccanismo di rottura e dalla corrispondente capacità rotazionale della componente attivata. La Figura 7.10 schematizza la relazione tra il modo di crisi e le proprietà geometriche e il rapporto tra la resistenza del piatto e dei bulloni (Jaspart, 1997). In ascissa è riportato il rapporto  $\beta$  tra la resistenza a flessione della piastra d'estremità o della flangia della colonna ( $M_{pl,Rd}$ ) e la resistenza a trazione dei bulloni ( $F_{t,Rd}$ ), mentre sull'asse delle ordinate è riportato il rapporto tra la resistenza del T-Stub ( $F$ ) e  $F_{t,Rd}$ . La resistenza del modo 1 in caso di linee di snervamento a schema circolare dipende dal rapporto  $\nu = n/m$ , dove  $m$  è la distanza tra l'asse del bullone e la posizione della cerniera plastica che si forma tra l'anima e la flangia, ed  $n$  è la minima distanza tra lo spigolo della flangia e l'asse dei bulloni e  $1.25m$ .

Sulla base della Figura 3.3, si possono adottare due livelli di duttilità per evitare una rottura di modo 3:

**Level-1:**  $\beta \leq 1$  si impone un modo 1 o un modo 2 (ma molto vicino al modo 1) che esibiscono una grande duttilità.

**Level-2:**  $\beta < 2$  and  $\eta \leq 0.95$ , si impone un modo 2 con duttilità limitata, ma scongiurando una rottura fragile tipo modo 3.

Il livello di duttilità da garantire ovviamente dipende dal livello prestazionale: per i nodi bilanciati o le connessioni a parziale ripristino è fondamentale assicurare una buona duttilità della zona di connessione, mentre è meno importante per i nodi a completo ripristino di resistenza.

In accordo all' EN1993:1-8, la capacità rotazionale del nodo deve essere controllata se  $M_{Rd}$  è minore di  $1.2 M_{B,pl,Rd}$  ed è possibile caratterizzarla in accordo a due alternative: 1) effettuare prove sperimentali; 2) limitare lo spessore del piatto

o della flangia della colonna (posto che una di tali componenti governi la resistenza della connessione) in accordo alla seguente disuguaglianza:

$$t \leq 0.36d \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}}$$

Eq. (3.8)

dove  $d$  è il diametro nominale del bullone,  $f_y$  è la resistenza di snervamento della relativa componente di base ed  $f_{ub}$  è la resistenza ultima del bullone. L'Eq. (3.8) teoricamente corrisponde con il Livello-1 descritto in Figura 3.3, assumendo che la resistenza di ogni singolo bullone ( $F_{t,Rd}$ ) sia maggiore della resistenza dei piatti connessi ( $F_{p,Rd}$ ) (piastra d'estremità o flangia della colonna). In particolare, la resistenza di progetto di un bullone a trazione ( $F_{t,Rd}$ ) è data da:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Eq. (3.9)

dove  $A_s$  è l'area resistente del bullone ed  $\gamma_{M2}$  il relativo coefficiente di sicurezza (i.e. 1.25 in accordo all'Eurocodice).

Inoltre, l'Eq. (3.8) impiega la resistenza di progetto ( $F_{p,Rd}$ ) che corrisponde a uno schema circolare delle linee di snervamento, che può essere assunta come:

$$F_{p,Rd} = \frac{\pi t^2 f_y}{\gamma_{M0}}$$

Eq. (3.10)

Dove  $t$  è lo spessore del piatto e  $\gamma_{M0}$  è il relativo coefficiente di sicurezza (valore raccomandato pari a 1). E' opportuno notare che le Eq. (3.9 e 3.10) assumono un comportamento dei piatti d'acciaio perfettamente plastico. Tuttavia, alla luce delle precedenti considerazioni, il Livello di duttilità uno per nodi sismo-resistenti a parziale ripristino di resistenza deve essere espresso considerando sia l'aleatorietà del materiale che i fenomeni di incrudimento e pertanto la seguente disuguaglianza può essere utilizzata:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma \cdot F_{p,Rd} = \gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh} \cdot F_{p,Rd}$$

Eq. (3.11)

Il fattore di sovra-resistenza  $\gamma$  nella Eq. (3.11) può essere assunto pari a 1.5, poichè i valori forniti dall'Eurocodice per  $\gamma_{ov}$  e  $\gamma_{sh}$  sono rispettivamente 1.25 e 1.2

per gli acciai dolci europei, e il coefficiente di sicurezza  $\gamma_{M0}$  è uguale a 1. Pertanto, riformulando la disuguaglianza (3.11) in funzione dell'Eq. (3.8), il criterio di duttilità, considerando i criteri di gerarchia delle resistenze, può essere espresso come segue:

$$t \leq \frac{0.42 \cdot d}{\sqrt{\gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh}}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{M0} \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2} \cdot f_y}} \cong 0.30 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}}$$

Eq. (3.12)

Per i nodi a completo ripristino e quelli bilanciati, per i quali nessuna o limitata duttilità deve essere rispettivamente garantita, è comunque consigliabile adottare un criterio di gerarchia locale, al fine di evitare rotture nelle componenti fragili dovute alla aleatorietà del materiale. Pertanto, in accordo al Livello-2, la resistenza dei bulloni deve soddisfare la seguente disuguaglianza:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma_{ov} \cdot F_{p,Rd}$$

Eq. (3.13)

L'Eq. (3.13), può essere riformulata e con qualche passaggio algebrico essere resa in una forma simile al criterio fornito dalla Eq. (3.8). E' importante sottolineare che tutti i criteri precedentemente descritti richiedono che la crisi nelle saldature deve essere in ogni caso evitata per il suo carattere fragile.

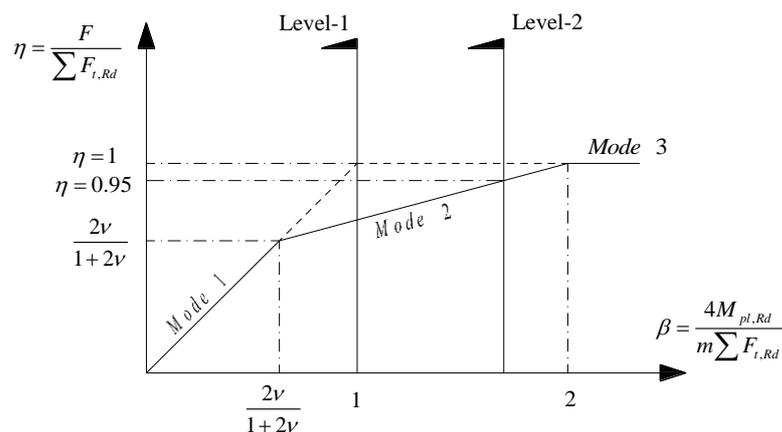


Figura 3.2 Criterio di duttilità, resistenza del T-stub e modo di crisi corrispondente

### 3.2. Ulteriori ipotesi di progetto

### 3.2.1. File di bulloni attive a trazione

Differently from the component method implemented in EN1993:1-8, where all bolt rows in tension are rigorously obtained by imposing the equilibrium with compression internal resultant, the number of active bolt-rows in tension is assumed *a-priori* as shown, since the contribution of bolt rows below the central axis of the connection is reasonably negligible under pure bending condition.

### 3.2.2. Centre of compression and lever arm

Per i nodi flangiati contemplati dalle disposizioni dell'EN 1993-1-8, il centro di compressione è localizzato a metà dello spessore della flangia della trave, o all'estremità della costolatura, per i nodi con costolatura d'ala. Risultati numerici e sperimentali hanno rivelato che la posizione del centro di compressione dipende sia dal tipo di nodo che dalla domanda in termini di rotazione, dovuta alla formazione di modi plastici con diversi livelli di impegno di ogni componente che costituisce il nodo. In accordo alla procedura di progetto proposta e sulla base dei risultati numerici e sperimentali reperibili in letteratura (Lee, 2002; Lee et al, 2005; Abidelah et al, 2012) e ottenuti nell'ambito del progetto (Maris et al., 2015, Stratan et al., 2016, D'Aniello et al, 2017; Tartaglia and D'Aniello, 2017, Tartaglia et al. 2018), la posizione del centro di compressione è assunta come segue: (i) a metà dello spessore della flangia della trave per i nodi flangiati non irrigiditi (Figura 3.4a); (ii) in corrispondenza del baricentro della sezione costituita dalla flangia della trave e dall'irrigidimento, per i nodi flangiati irrigiditi (Figura 3.4b); (iii) a metà dell'altezza della costolatura d'ala ( $0.5 h_h$ ) per i nodi con costolatura d'ala inferiore (Figura 3.4c).

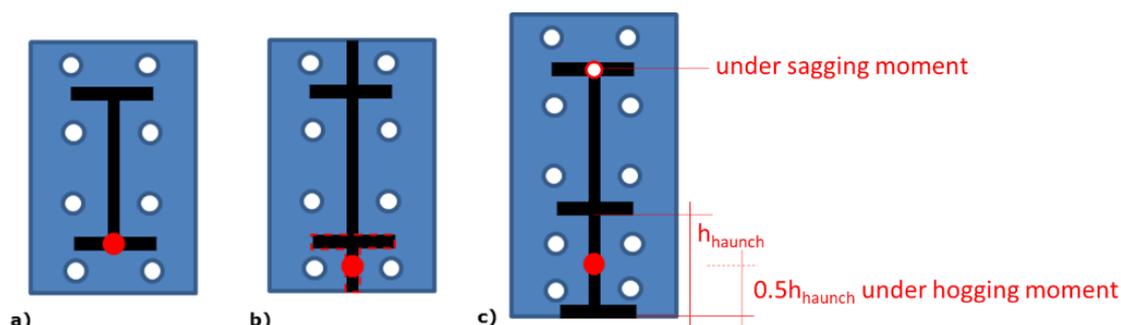


Figure 3.3 Posizione del centro di compressione (cerchio rosso) per le diverse tipologie di nodo: (a) flangiato non irrigidito (b) flangiato irrigidito (c) flangiato con costolatura d'ala inferiore..

## 3.3. Nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore

### 3.3.1. Descrizione della configurazione del nodo

I nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore sono progettati per avere una connessione a totale ripristino di resistenza e rigidezza, con pannelli nodali forti o bilanciati. La configurazione di tali nodi è riportata in Figura 3.5. Andando a

descrivere la connessione in oggetto, essa prevede una piastra d'estremità che si estende oltre l'altezza della trave e dotata di bulloni ad elevata resistenza. La costolatura è posizionata in corrispondenza della flangia inferiore della trave. I piatti di continuità (rinforzi trasversali) della colonna e della trave sono obbligatori mentre le piastre d'anima supplementari sono facoltative e possono essere usate per incrementare la rigidezza e la resistenza del pannello d'anima della colonna. L'angolo di inclinazione della costolatura viene misurato tra la flangia inferiore della trave e la flangia della costolatura e può variare da 30° a 45°. Le tipologie di saldature per le quali i nodi trave-colonna con costolatura sono stati prequalificati sono riportate in Figura 3.6. Tutte le saldature sono state progettate per la resistenza delle parti saldate. Si impiegano due saldature a cordone d'angolo (per entrambi i lati della piastra) con una sezione di gola minima di 0,55 volte lo spessore della piastra. Le saldature critiche (flangia superiore della trave, flangia della costolatura, piastra di supporto dell'anima supplementare alla flangia della colonna) sono saldature a completa penetrazione. Le saldature della flangia superiore della trave e della flangia della costolatura sono ulteriormente rinforzate con ulteriori cordoni.

### 3.3.2. *Elenco dei sistemi per i quali la connessione è prequalificata*

I nodi flangiati irrigiditi sono prequalificati per i seguenti sistemi strutturali:

- Telai momento-resistenti (MRFs);
- Strutture duali con controventi concentrici (i.e. MRF+ CBFs);
- Strutture duali con controventi eccentrici (i.e. MRF+ EBFs).

I nodi devono essere utilizzati solo in telai le cui maglie siano definite trave-colonna perpendicolari e che presentino uno schema planimetrico della parte sismo-resistente regolare, senza travi inclinate.

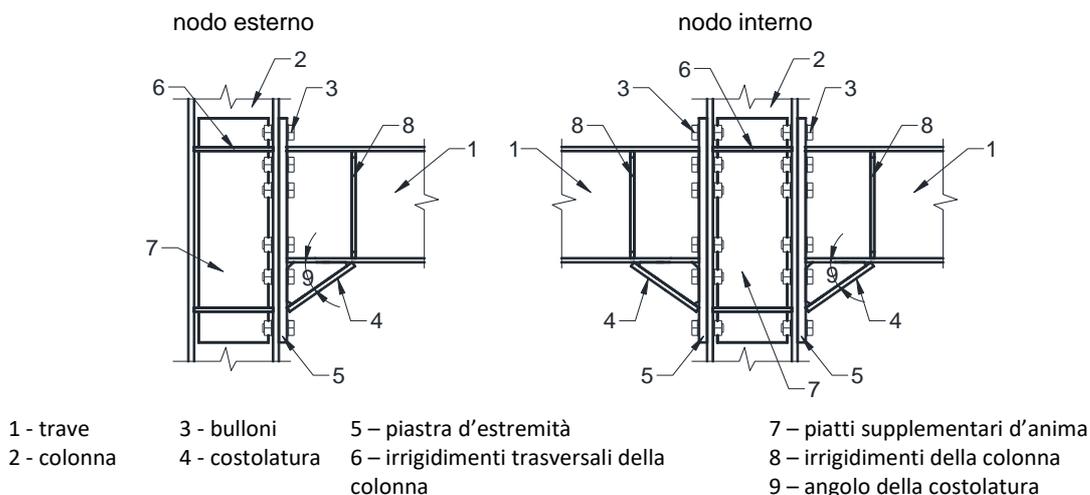


Figure 3.5 Descrizione dei collegamenti di tipo flangiato con costolatura d'ala inferiore

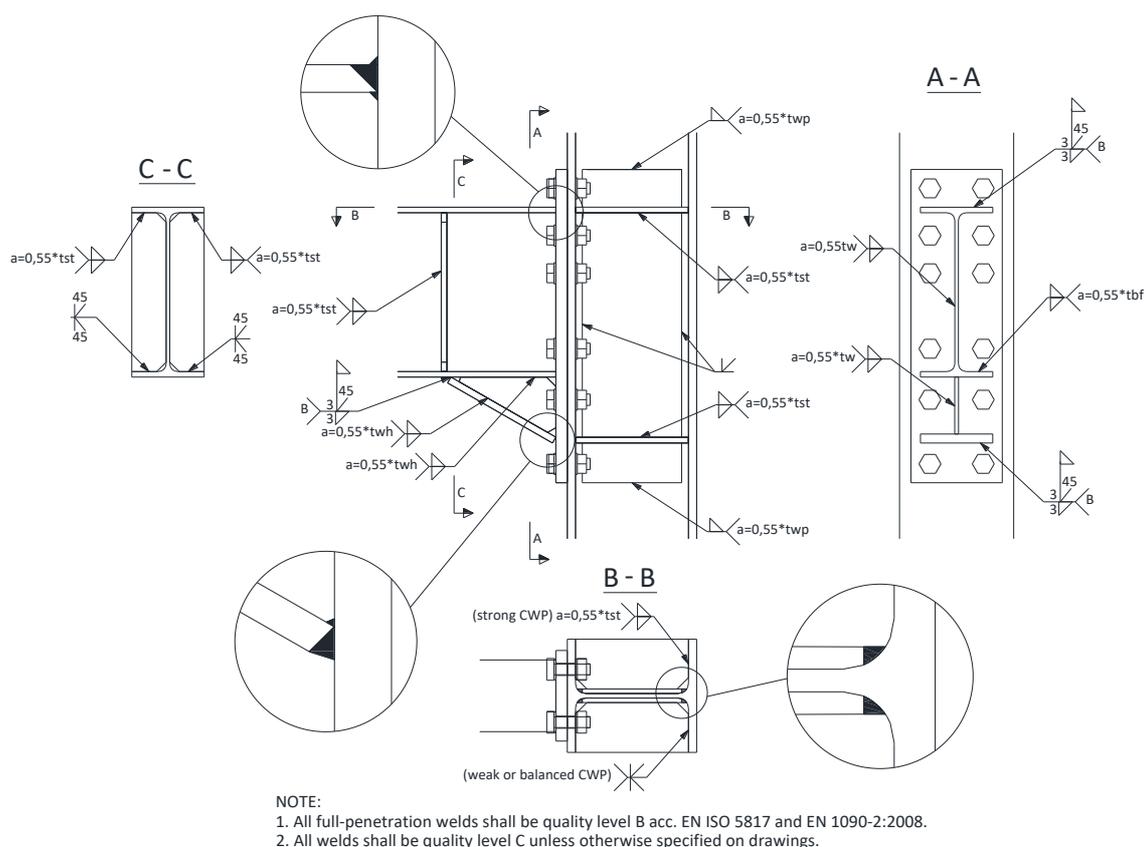


Figura 3.6 Dettagli di saldatura per nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore

### 3.3.3. Limiti di applicazione

Tabella 3.1 Limiti di applicazione

| Elementi   | Intervallo di applicazione  |
|--|---|
| <i>Trave</i>   | Travi a flangia larga laminate a caldo comprese tra IPE330 e IPE600. La sezione trasversale deve essere di classe 1 secondo EN 1993-1-1.<br>Possono essere utilizzate travi in composizione saldata con forma simile, a condizione che le saldature tra l'anima e le flange siano saldature a completa penetrazione rinforzate con cordoni. |
| Altezza  | 330 a 600 mm  |
| Chiaro rapporto tra lunghezza e altezza (tra la posizione presunta delle cerniere plastiche) | Minimo 7  |
| Spessore della flangia   | Minimo: 11 mm<br>Massimo: 21 mm* (10% di estrapolazione rispetto al massimo testato)  |
| Materiale  | S235 a S355   |
| <i>Colonna</i>   | Colonne a flangia larga laminate a caldo che vanno da HEB260/HEM260 fino a HEB550/HEM550. La sezione trasversale deve essere di classe 1 secondo EN 1993-1-1.<br>Possono essere utilizzate colonne in sezione composta saldata di forma simile, a condizione che le saldature tra l'anima e le flange                                       |

|   |  |
|---|--|
|   | siano saldature a completa penetrazione rinforzate con cordoni di rinforzo   |
| Altezza                                 | 260 a 550 mm   |
| Spessore della flangia                  | Minimo: 17.5 mm<br>Massimo: 40 mm  |
| Materiale                               | Da S235 a S355   |
| Altezza trave/colonna                   | 0.60-2.00  |
| Piastra d'estremità                     | 20-40  |
| Spessore                                | Minimo: 20 mm<br>Massimo: 40 mm  |
| Larghezza                               | Minimo: larghezza flangia della trave+ 30 mm<br>Massimo: larghezza flangia della colonna   |
| Materiale                               | Da S235 a S355   |
| Rinforzi trasversali di colonne e travi | Secondo i requisiti da EN 193-1-8 and EN 1998-1.   |
| Materiale                               | Da S235 a S355   |
| Piatti d'anima supplementari            | Secondo i requisiti dell' EN 1993-1-8 e EN 1998-1. È consentito considerare l'intera area dei piatti d'anima supplementari nel calcolo della resistenza di taglio aggiuntiva del pannello d'anima della colonna. |
| Altezza                                 | Almeno uguale all'altezza della piastra terminale.   |
| Materiale                               | Da S235 a S355   |
| Bulloni                                 | Gruppi di bullonature strutturali ad alta resistenza per il pre-carico, secondo EN 14399-3 (sistema HR) e EN 14399-4 (sistema HV). I bulloni devono essere completamente precaricati secondo la EN 1090-2.       |
| Dimensione                              | M24 a M36  |
| Classe                                  | 8.8 o 10.9   |
| Fori                                    | Secondo EN 1993-1-8  |
| Ringrosso                               |  |
| Angolo                                  | L'angolo della costolatura misurata tra la flangia inferiore della trave e la flangia della costolatura può variare da 30° a 45°.  |
| Saldature                               | Secondo la Figura 3.6  |
| Piastra d'estremità                     | Saldature a completo ripristino rinforzate   |
| Piatti di continuità                    | Saldature a totale penetrazione  |
| Piastre supplementari d'anima           | Saldature a totale penetrazione  |
| Altre saldature                         | Le saldature di raccordo su entrambi i lati hanno una sezione di gola superiore a 0,55 volte lo spessore delle piastre collegate   |

Nota: I test di prequalifica sono stati eseguiti su travi che vanno da IPE360 a IPE600. Il limite inferiore è esteso all' IPE330 in quanto rappresenta meno del 10% della variazione dell'altezza della trave e si è dimostrato che dimensioni minori della trave sono caratterizzate da una maggiore duttilità nei test di riqualificazione.

### 3.3.4. Procedura di progetto

I nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore sono progettati per avere una connessione a totale ripristino di resistenza e rigida, avente un pannello d'anima della colonna forte o bilanciato. La procedura di progetto è basata sul metodo delle

componenti implementato nell' EN 1993-1-8, con alcune modifiche riportate nel prosieguo, e tiene conto dei requisiti della EN 1998-1. Il nodo è considerato costituito da tre macrocomponenti: l'organo di connessione, il pannello d'anima della colonna e la trave connessa. Il collegamento è progettato per resistere al momento flettente e alla forza di taglio sulla faccia della colonna corrispondente alla formazione delle cerniere plastiche sulla trave (in corrispondenza dell'estremità dell'irrigidimento), tenendo conto della sovraresistenza del materiale e dell'incrudimento.

Le simulazioni numeriche eseguite nel progetto EQUALJOINTS hanno dimostrato che per il momento flettente negativo il centro di compressione si trova a una distanza  $\Delta_c$  sopra la flangia della costolatura. Sulla base dei risultati disponibili, si può presumere che il centro di compressione sia posizionato all'incirca al 50% dell'altezza del ringrosso ( $\Delta_c = 0,45 h_h$ , vedi Figura 3.7a). Per il momento positivo, si assume il centro di compressione situato al centro della flangia compressa (Figura 3.7b). D'altro canto, le file di bulloni posizionate vicino al centro di compressione sviluppano forze di trazione trascurabili, a causa della deformabilità della piastra d'estremità e della duttilità limitata delle file di bulloni sulla flangia tesa.

Di conseguenza, si è ipotizzato che solo le file di bulloni che si trovano al di sopra dell'asse orizzontale di simmetria della sezione trasversale della trave (senza costolatura) siano attive a momento negativo. A momento positivo, sono state considerate attive solo le file di bulloni al di sopra di metà dell'altezza della sezione trasversale della trave, considerando anche la costolatura.

Il pannello d'anima della colonna può essere progettato per essere bilanciato con la trave, condividendo con quest'ultima le richieste di deformazione plastica, o per essere più forte della trave.

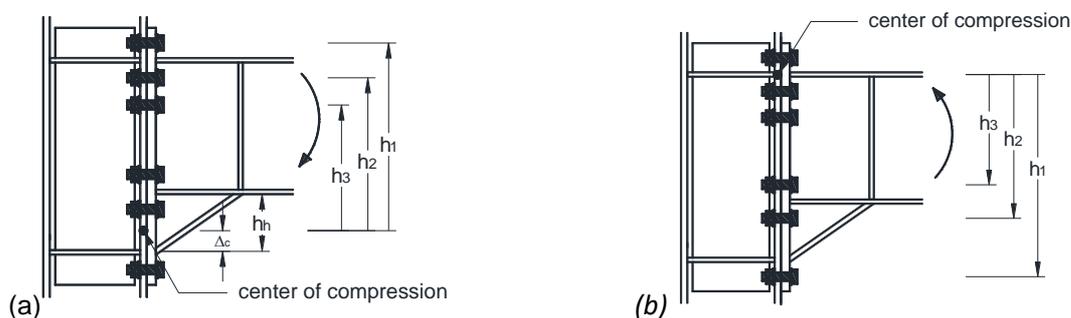


Figura 3.7 Centro di compressione e file di bulloni attivi momenti negativi (a) e positivi (b).

### 3.3.4.1. Procedura globale

#### Fase 1: Scelta iniziale delle geometrie e dei materiali delle connessioni

- Classe del bullone, dimensione del bullone e numero di file di bulloni
- Spessore e dimensioni della piastra d'estremità
- Spessore e dimensioni della costolatura
- Spessore e dimensioni degli irrigidimenti trasversali

- Spessore e dimensioni dei piatti d'anima supplementari (se necessari)
- Specifica della saldatura

**Fase 2:** Caratterizzazione delle componenti

- Resistenza delle componenti (nodo soggetto a flessione)
- Rigidezza delle componenti (nodo soggetto a flessione)
- Resistenza delle componenti (nodo soggetto a taglio)

**Fase 3:** Procedure per l'insieme

- Resistenza a flessione della connessione
- Resistenza a taglio della connessione
- Resistenza del pannello d'anima della colonna
- Rigidezza a flessione del nodo

**Fase 4:** Classificazione della connessione e verifica

3.3.4.2. Scelta iniziale della connessione

Le raccomandazioni fornite nella tabella seguente possono essere utilizzate per una prima ipotesi delle geometrie e dei materiali della connessione.

| Elemento                      | Dimensioni della trave   |                           |                            |
|-------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|
|                               | Piccola ( $\approx$ IPE360)  | Media ( $\approx$ IPE450) | Grande ( $\approx$ IPE600) |
| Classe del bullone            | 10.9   |                           |                            |
| Dimensione del bullone        | M27  | M30                       | M36                        |
| Numero di file di bulloni     | 6  | 6                         | 6                          |
| Piastra d'estremità           | <i>Spessore:</i> $t_{ep}=d_b$ .<br><i>Dimensione:</i> La larghezza deve essere maggiore della larghezza della flangia della trave (ma almeno 30 mm per accogliere la saldatura) e inferiore alla flangia della colonna. La parte estesa dovrebbe essere sufficiente per posizionare una fila di bulloni, rispettando le regole indicate nella EN 1993-1-8 (§3.5).  |                           |                            |
| costolatura                   | Larghezza della flangia della costolatura uguale a quella della flangia della trave.<br>Lo spessore della flangia della costolatura dovrebbe essere maggiore di $\gamma_{ov}$ volte lo spessore della trave.<br>Lo spessore dell'anima della costolatura dovrebbe essere uguale o maggiore dello spessore dell'anima della trave: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>h_h = 0.4 \cdot h_b</math> per un angolo della costolatura di <math>30^\circ \leq \alpha &lt; 40^\circ</math>;</li> <li>• <math>h_h = 0.5 \cdot h_b</math> per un angolo della costolatura di <math>40^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ</math>.</li> </ul> |                           |                            |
| Paletti d'anima supplementari | Lo spessore e le dimensioni dei piatti d'anima supplementari dovrebbe rispettare le regole fornite dall' EN 1993-1-8 (§ 6.2.6.1), in caso contrario si dovrebbero utilizzare saldature a bottone per garantire la stabilità delle piastre supplementari.   |                           |                            |
| Irrigidenti trasversali       |  |                           |                            |
| Dettagli della saldatura      |  |                           |                            |

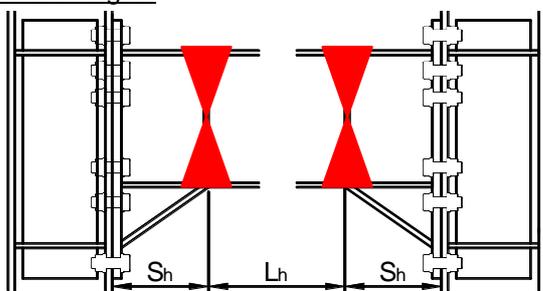
Tabella 3.1

Nota:  $t_{ep}$  è lo spessore della piastra d'estremità e  $d_b$  è il diametro nominale del bullone.

### 3.3.4.3. Procedura d'Insieme e verifiche di resistenza

| Classificazione  | Criterio   | Riferimenti             |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
|--|--|-------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|---------------|--|----------------------------------|--|------------------|
| Resistenza a flessione                                 | Connessione a totale ripristino di resistenza:<br>$M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h)$ $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$   | Equaljoints             |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
| Resistenza a taglio                                    | $V_{con,Rd} \geq V_{b,Ed}$   | Equaljoints             |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
| Resistenza a taglio del pannello d'anima della colonna | Pannello d'anima forte:<br>$V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$ con<br>$V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$   | Equaljoints             |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
| Rigidezza  | <table border="0"> <tr> <td>Classificazione</td> <td>telai controventati</td> <td>telai non controventati</td> </tr> <tr> <td>Nodi semi-rigidi</td> <td><math>0.5 \leq k_b &lt; 8</math></td> <td><math>0.5 \leq k_b &lt; 25</math></td> </tr> <tr> <td>Nodi rigidi</td> <td><math>k_b \geq 8</math></td> <td><math>k_b \geq 25</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)</math></td> </tr> </table> | Classificazione         | telai controventati | telai non controventati | Nodi semi-rigidi | $0.5 \leq k_b < 8$ | $0.5 \leq k_b < 25$ | Nodi rigidi | $k_b \geq 8$ | $k_b \geq 25$ |  | $k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$ |  | EC3-1-8<br>5.2.2 |
| Classificazione  | telai controventati  | telai non controventati |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
| Nodi semi-rigidi                                       | $0.5 \leq k_b < 8$   | $0.5 \leq k_b < 25$     |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
| Nodi rigidi  | $k_b \geq 8$   | $k_b \geq 25$           |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |
|  | $k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$   |                         |                     |                         |                  |                    |                     |             |              |               |  |                                  |  |                  |

Determinare il momento flettente di progetto sulla faccia della colonna e la corrispondente forza di taglio.



Il momento flettente di progetto sulla faccia della colonna, corrispondente alla cerniera plastica plasticizzata ed incrudita posizionata alla fine della costolatura, è:

$$M_{con,Ed} = M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h$$

La forza di taglio di progetto della connessione  $V_{con,Ed}$  è determinata assumendo che ad entrambe le estremità della trave si formino cerniere plastiche completamente plasticizzate ed incrudite:

$$V_{con,Ed} \cong V_{b,Ed} = V_{Ed,M} + V_{Ed,G}$$

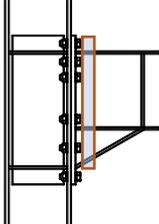
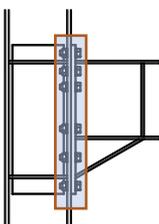
dove:

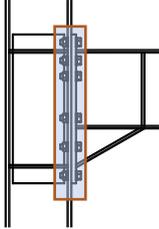
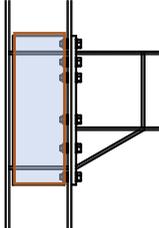
$M_{pl,Rd}^* = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot W_{pl,beam} \cdot f_{y,beam}$  il momento plastico atteso in corrispondenza delle cerniere plastiche;

$W_{pl,beam}$  è il modulo plastico della trave;

$f_{y,beam}$  è la specificata tensione minima di snervamento dell'elemento plasticizzato;

$\gamma_{sh}$  è il fattore di incrudimento per tenere conto della resistenza di picco della

|  |   |
|--|---|
| <p>connessione;</p> <p><math>\gamma_{ov}</math> è il fattore di sovreresistenza del materiale;</p> <p><math>V_{Ed,M}</math> è la forza di taglio dovuta alle cerniere plastiche;</p> <p><math>V_{Ed,G}</math> è la forza di taglio dovuta ai carichi gravitazionali nella situazione di progetto sismica;</p> <p><math>s_h</math> è la distanza tra la faccia della colonna e la cerniera plastica;</p> <p><math>L_h</math> è la distanza tra le cerniere plastiche.</p> <p>Nota: Prove sperimentali mostrano che la cerniera plastica si forma ad una certa distanza dalla fine della costolatura. Ai fini esemplificativi, si può assumere che la cerniera plastica si formi all'estremità della costolatura. Se necessario, si può ricorrere ad una più posizione più precisa.</p>  |   |
| <p><u>Verifica della parte estrema della trave inclusa la costolatura</u></p> <p>L'estremità della trave comprendente la costolatura è verificata in accordo l' EN-1993-1-1 per il momento flettente di progetto atteso alla faccia della colonna:</p> $\frac{M_{con,Ed}}{M_{bh,Rd}} \leq 1,0$ <p>dove:</p> <p><math>M_{bh,Rd}</math> è il momento plastico resistente della sezione a doppio T composta dalla flangia superiore della trave, della flangia della costolatura e dall'anima trave-costolatura, trascurando la flangia inferiore della trave, vedi paragrafo 6.2.6.7 dell' EN 1993-1-8;</p> <p><math>M_{con,Ed}</math> è il momento massimo atteso alla faccia della colonna.</p> <p>Al fine di considerare una possibile sovreresistenza del materiale nella trave rispetto alla costolatura, lo spessore della flangia della costolatura è successivamente incrementato di <math>\gamma_{ov}</math>.</p>   |   |
| <p><u>Verifica della resistenza a flessione della connessione con piastra d'estremità.</u></p> <p>Verifica della resistenza a flessione della connessione, soggetta a momenti negativi e positivi:</p> $\frac{M_{con,Ed}}{M_{con,Rd}} \leq 1,0$ <p>dove <math>M_{con,Rd}</math> è la resistenza a flessione della connessione.</p> <p>I seguenti component sono usati per ottenere la resistenza a flessione delle connessioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flangia della colonna in flessione;</li> <li>• Piastra d'estremità in flessione;</li> <li>• Anima della trave in trazione;</li> <li>• Anima della colonna in trazione;</li> <li>• Anima della colonna in compressione.</li> </ul> <p><math>M_{con,Rd}</math> è determinato secondo l'EN 1993-1-8, con le seguenti modifiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sotto flessione negativa, sono assunte attive solo le file di bulloni situate al di sopra della mezzeria della sezione trasversale della trave (senza ringrosso);</li> <li>• sotto flessione positiva, sono considerate attive solo le file di bulloni situate oltre la mezzeria della sezione trasversale della trave, incluso il ringrosso;</li> <li>• per momenti flettenti negativi, il centro di compressione è spostato verso l'alto del 50% dell'altezza della costolatura (<math>\Delta_c = 0.5 h_h</math>, vedi</li> </ul> |  |

|   |   |
|---|---|
| <p>Figura 3.7a);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• i seguenti componenti non sono presi in considerazione: pannello d'anima della colonna a taglio, flangia e anima della colonna (e del ringrosso) in compressione.</li> </ul>  |   |
| <p><u>Verifica della resistenza a taglio della connessione</u></p> $\frac{V_{b,Ed}}{V_{con,Rd}} \leq 1,0$ <p>dove <math>V_{con,Rd}</math> è la resistenza a taglio della connessione.</p> <p>I seguenti componenti sono utilizzati per ottenere la resistenza a taglio delle connessioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anima della trave sollecitata a taglio;</li> <li>• Bulloni coinvolti nel rifollamento della flangia della colonna;</li> <li>• Bulloni coinvolti nel rifollamento della piastra d'estremità;</li> <li>• Bulloni soggetti a taglio. Devono essere considerati solo i bulloni non tenuti in conto per la resistenza a flessione della connessione</li> </ul>  |    |
| <p><u>Verifica del pannello d'anima della colonna</u></p> <p>La forza di taglio di progetto nel pannello d'anima della colonna è determinata sulla base dei momenti flettenti e delle forze di taglio agenti sul pannello d'anima.</p> $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$ <p>dove</p> <p><math>V_{wp,Ed}</math> è la forza di taglio di progetto agente sul pannello d'anima della colonna;</p> <p><math>V_{c,Ed}</math> è la forza di taglio sulla colonna;</p> <p><math>z</math> è il braccio di leva interno.</p> <p>Per un <i>pannello d'anima della colonna forte</i>, la forza di taglio di progetto dovrebbe essere ottenuta tenendo conto dello sviluppo delle cerniere plastiche completamente plasticizzate ed incrudite nella trave:</p> $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ <p>La resistenza del pannello d'anima della colonna è verificata con la seguente relazione:</p> $\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$ <p><math>V_{wp,Rd}</math> è determinato secondo l' EN 1993-1-8. Si applicano le seguenti limitazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• È consentito considerare l'intera area delle piastre d'anima supplementari nel calcolo della resistenza a taglio aggiuntiva del pannello d'anima della colonna.</li> <li>• La resistenza a taglio aggiuntiva <math>V_{wp,add,Rd}</math> dovuta alle flange della colonna e agli irrigidimenti trasversali può essere trascurata.</li> </ul> |  |

### 3.3.4.4. Caratterizzazione dei componenti

| Componente   | Regole di dettaglio  | Riferimenti                     |
|--|--|---------------------------------|
| Pannello d'anima della colonna soggetto a taglio   | Si applicano le regole in EN 1993-1-8, 6.2.6.1, con le seguenti osservazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>È consentito considerare l'intera area dei piatti d'anima supplementari nel calcolo della resistenza a taglio aggiuntiva del pannello d'anima della colonna.</li> <li>La resistenza al taglio aggiuntiva <math>V_{wp,add,Rd}</math> dovuta alle flange della colonna e agli irrigidimenti trasversali può essere ignorata.</li> </ul> | EN 1993-1-8<br>6.2.6.1<br>6.3.2 |
| Flange della colonna in flessione                  | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>6.2.6.4<br>6.3.2 |
| Piastra d'estremità in flessione                   | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>6.2.6.5<br>6.3.2 |
| Anima della colonna in compressione                | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>6.2.6.2<br>6.3.2 |
| Anima della trave a trazione                       | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>6.2.6.8<br>6.3.2 |
| Anima della colonna a trazione                     | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>6.2.6.3<br>6.3.2 |
| Anima della trave a taglio                         | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-1<br>6.2.6            |
| Bulloni a rifollamento sulla flangia della colonna | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>3.6.1            |
| Bulloni a rifollamento sulla piastra d'estremità   | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>3.6.1            |
| Bulloni a taglio                                   | Si applicano le regole dell' EN 1993-1-8.  | EN 1993-1-8<br>3.6.1            |

### 3.3.4.5. Classificazione della rigidezza

I nodi flangiati con costolatura d'ala inferiore possono essere considerati rigidi se:

- la resistenza del pannello d'anima della colonna è stata calcolata in accordo all'equazione (6.7) della EN 1993-1-8, trascurando il contributo

$V_{wp,add,Rd}$  dovuto alla plasticizzazione delle flange della colonna e dei piatti di continuità.

- il modello della linea d'asse sia utilizzato per l'analisi strutturale globale;
- i bulloni siano di categoria E (completamente precaricati) secondo l'EN 1993-1-8.

Le regole fornite dall'EN 1993-1-8 possono essere utilizzate per quantificare la rigidità della connessione e del pannello d'anima della colonna. Un modello rifinito della connessione e del pannello d'anima della colonna può essere utilizzata nell'analisi strutturale globale, se necessario.

#### 3.3.4.6. Classificazione della duttilità

I nodi trave-colonna con piastra d'estremità estesa e ringrosso progettati secondo le disposizioni precedentemente descritte sono ritenuti idonei per l'applicazione nei sistemi strutturali DCH e DCM (telai sismo-resistenti, sistemi accoppiati telaio-controvento concentrico e telaio-controvento eccentrico). Tale assunto si basa sul fatto che tutte le connessioni testate soddisfano i seguenti requisiti (ANSI/AISC 341-16):

- La connessione è in grado di consentire un angolo di rotazione di piano di almeno 0,04 rad
- La resistenza a flessione misurata della connessione, determinata sulla faccia della colonna, è pari ad almeno 0,80Mp della trave collegata a un angolo di rotazione di piano pari a 0,04 rad.

Si noti che le rotazioni di piano misurate al 20% del momento massimo sono inferiori a 0,04 rad (ma superiori a 0,03 rad).

### 3.4. Nodi flangiati irrigiditi

#### 3.4.1. *Descrizione della configurazione del nodo*

La configurazione del nodo per la tipologia flangiata irrigidita è descritta in Figura 3.8. Si possono utilizzare 4 o 6 file di bulloni in funzione della dimensione della trave e del livello prestazionale desiderato. Se necessario possono essere impiegati dei piatti d'anima per rinforzare l'anima della colonna, mentre l'uso dei piatti di continuità (irrigidimenti trasversali) è raccomandato in tutti i casi. Le tipologie di saldature in accordo ai criteri di progetto sono riportate in Tabella 3.2.

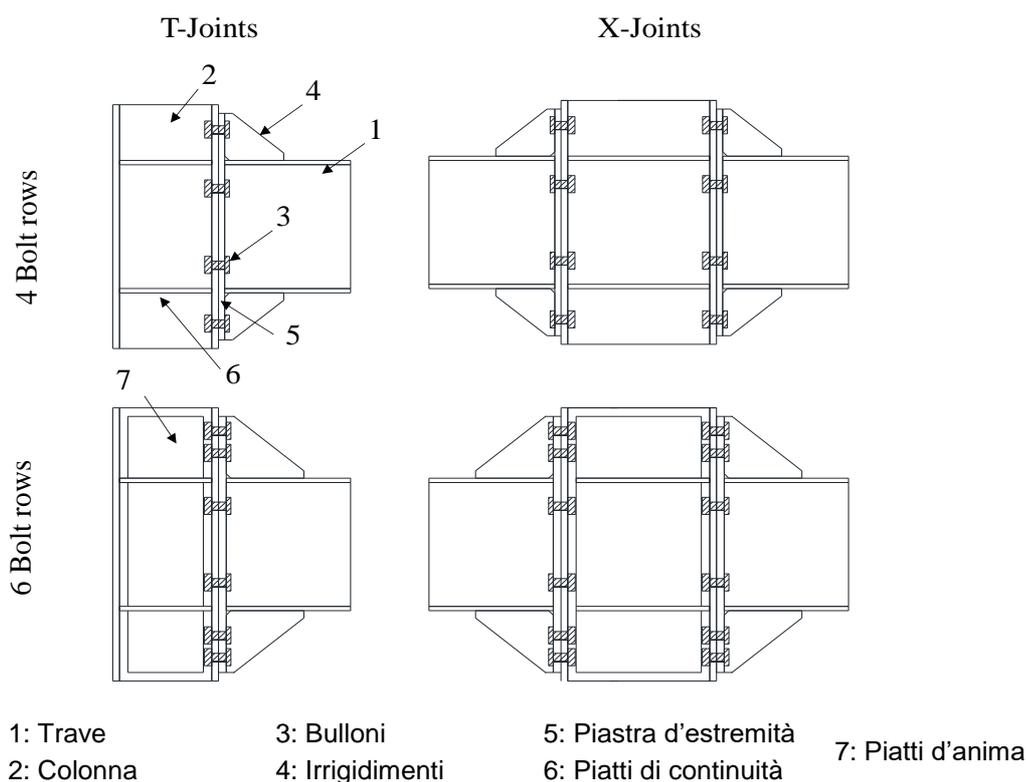


Figura 3.4 Description of stiffened extended end-plate joints

Tabella 3.1 **Tipi di saldature In accordo ai criteri di progetto**

| Elementi saldati   | Resistenza del nodo |            |                     |
|--|---------------------|------------|---------------------|
|  | Completo ripristino | Bilanciati | Parziale ripristino |
| Flangia della trave-piatto (bf-ep)   | FPW                 | FPW        | FPW                 |
| Anima della trave-piatto (bw-ep)   | FPW                 | FPW        | FW                  |
| Piatti di continuità-colonna (cp-c)  | FW                  | FW         | FPW                 |
| Irrigimento-piatto (r-ep)  | FPW                 | FPW        | FPW                 |
| Irrigidimento-flangia della trave (r-bf)   | FPW                 | FPW        | FPW                 |
| Piatti supplementari-anima colonna (Swp-c)   | FPW+PW              | FPW+P<br>W | FPW+P<br>W          |
| Acronimi:<br>Saldature a cordone (FW), Bottonature (PW), a completa penetrazione (FPW) |                     |            |                     |

### 3.4.2. *Elenco dei sistemi per i quali sono prequalificati i nodi*

I nodi flangiati irrigiditi sono prequalificati per i seguenti sistemi strutturali:

- Telai momento-resistenti (MRFs);
- Strutture duali con controventi concentrici (i.e. MRF+ CBFs);
- Strutture duali con controventi eccentrici (i.e. MRF+ EBFs).

I nodi devono essere utilizzati solo in telai le cui maglie siano definite trave-colonna perpendicolari e che presentino uno schema planimetrico della parte sismo-resistente regolare, senza travi inclinate.

### 3.4.3. Limiti di applicazione

I limiti di applicazione sono riportati in Tabella 3.3

**Tabella 3.3 Limiti di applicazione della prequalificazione**

| Elementi                                   | Intervallo di applicazione  |
|--|---|
| <b>Trave</b>                               |   |
| Altezza                                    | Massimo=600mm   |
| Rapporto altezza-luce                      | Massimo =23, Minimo=10  |
| Spessore della flangia                     | Massimo =19mm   |
| Materiale                                  | S235-S355   |
| <b>Colonna</b>                             |   |
| Altezza                                    | Massimo =550mm  |
| Spessore della flangia                     | Massimo =29mm   |
| Materiale                                  | S235-S355   |
| Altezza trave/colonna                      | 0.65-2.15   |
| <b>Piatto d'estremità</b>                  | 18-30mm   |
| Spessore                                   | Tabella 3.4   |
| Materiale                                  | S235-S355   |
| <b>Piatti di continuità</b>                |   |
| Spessore                                   | Tabella 3.4   |
| Materiale                                  | S235-S355   |
| <b>Piatti supplementari d'anima</b>        |   |
| Spessore                                   | Tabella 3.4   |
| Materiale                                  | S235-S355   |
| <b>Bulloni</b>                             | Bulloni pre-caricabili HV o HR  |
| Dimensione                                 | Tabella 3.4   |
| Grado                                      | HV10.9  |
| Numero di file di bulloni                  | Tabella 3.4   |
| Rondelle                                   | In accordo a EN 14399-4   |
| Fori                                       | In accord a EN1993:1-8  |
| <b>Saldature</b>                           | Tabella 3.2   |
| Piatto-flangia della trave                 | A completa penetrazione rinforzate (Figura 3.9)   |
| Piatti di continuità-flangia della colonna | A completa penetrazione (Figura 3.9)  |
| Piatti supplementari–anima colonna         | A completa penetrazione con riempimento dei raggi di raccordo (Figura 3.9)              |
| Altre saldature                            | A cordone d'angolo: altezza di gola almeno 0.55 volte lo spessore dei piatti collegati. |

Le indicazioni fornite in Tabella 3.3 possono essere usate per la scelta iniziale delle geometrie e dei materiali della connessione.

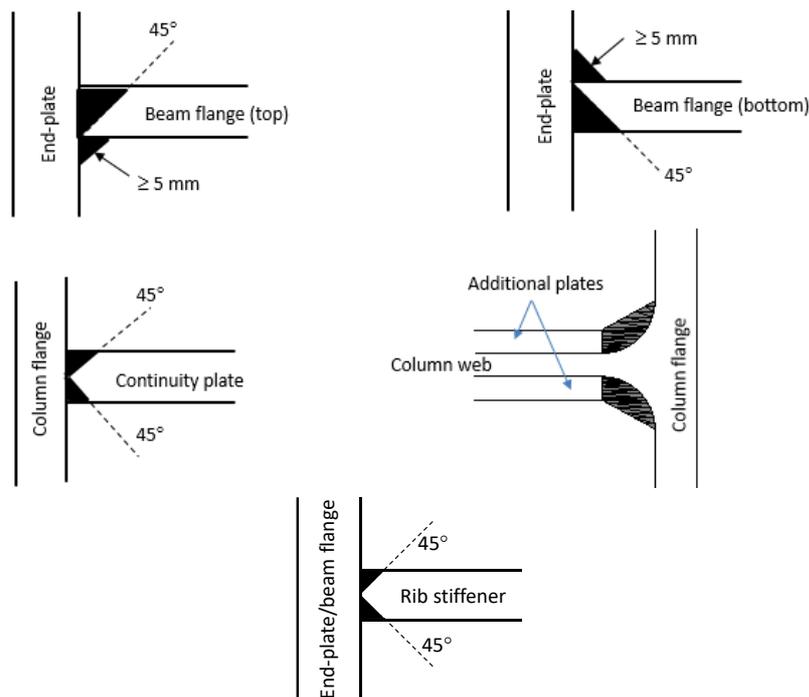


Figura 3.5 Dettagli delle saldature

#### 3.4.4. Procedura di progetto

Una volta selezionate le principali geometrie del nodo, e le caratteristiche dei materiali, si procede al progetto attraverso tre fasi:

- Caratterizzazione delle componenti
- Procedura di assemblaggio
- Classificazione del nodo e verifiche

##### 3.4.4.1. Procedura globale

###### Step 1: Scelta iniziale di geometrie e materiali

- Grado e diametro dei bulloni, numero di file
- Dimensioni e spessore della piastra d'estremità
- Dimensioni e spessore dei piatti di continuità
- Dimensioni e spessore di (eventuali) piatti aggiuntivi d'anima
- Specifiche delle saldature

###### Step 2: Caratterizzazione delle componenti

- Resistenza delle componenti (a flessione)
- Rigidezza delle componenti (a flessione)
- Resistenza delle componenti (a taglio)

###### Step 3: Procedura di assemblaggio

- Resistenza flessionale del nodo
- Rigidezza flessionale del nodo
- Resistenza a taglio della connessione

- Grado di duttilità della connessione

**Step 4:** Classificazione del nodo e verifiche:

- Resistenza a flessione
- Rigidezza a flessione
- Resistenza a taglio
- Duttilità
- Verifica

**3.4.4.2. Scelta iniziale del collegamento**

Le raccomandazioni fornite dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** possono essere usate per scegliere la geometria iniziale del collegamento ed i relativi materiali.

Tabella 3.4 **Scelta iniziale di geometrie e materiali della connessione**

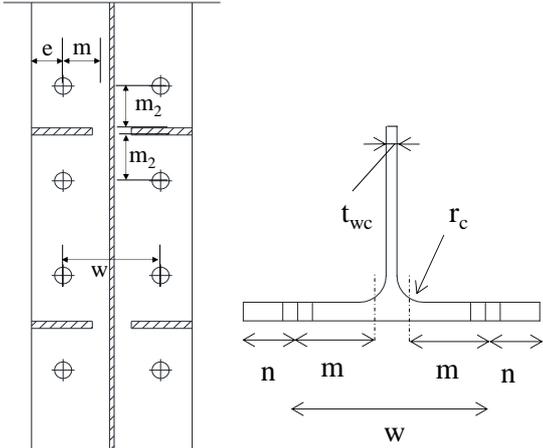
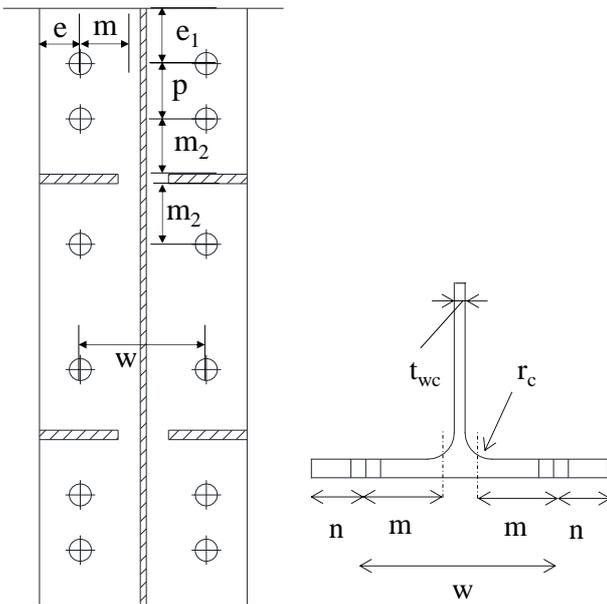
| Elemento  | Dimensione della trave   |                            |                             |
|---|--|----------------------------|-----------------------------|
|   | Piccola ( $\approx$ IPE360)  | Middle ( $\approx$ IPE450) | Piccola ( $\approx$ IPE360) |
| Classe dei bulloni  | HV 10.9  |                            |                             |
| Dimensione dei bulloni  | M27  | M30                        | M36                         |
| Numero di file di bulloni   | 4/6  | 4/6                        | 6                           |
| Piatto d'estremità  | <p><i>Spessore:</i> <math>t_{ep}=(2/3\div5/6)d_b</math> per i nodi a completo ripristino deve essere leggermente maggiore rispetto a quello della flangia della colonna; <math>t_{ep}=(2/3\div5/6)d_b</math> per i nodi bilanciati ma deve essere minore dello spessore della flangia della colonna.</p> <p><i>Dimensione:</i> la larghezza deve essere uguale o minore di quella della flangia della colonna. La parte che si estende al di sopra delle flange della trave deve essere sufficientemente profonda da consentire l'alloggiamento di una o due file di bulloni, in accordo alle regole fornite dall' EC3-1-8 (§3.5).</p> |                            |                             |
| Piatti supplementari d'anima  | Lo spessore e la dimensione devono rispettare le regole fornite dall' EC3-1.8 (§ 6.2.6.1); oppure possono essere usate delle bottonature per garantire la stabilità della resistenza dei piatti supplementari d'anima.   |                            |                             |
| Piatti di continuità  | Spessore simile a quello della flangia della trave   |                            |                             |
| Dettaglio delle saldature   | Tabella 3.3  |                            |                             |
| Note: $t_{ep}$ è lo spessore del piatto e $d_b$ è il diametro nominale dei bulloni. |  |                            |                             |

### 3.4.4.3. Procedura di assemblaggio e verifiche di resistenza

| Classificazione        | Criterio  | Riferimenti         |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |
|------------------------|---|---------------------|---------------------|-------|------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|---------------|------------------|
| Resistenza a flessione | $M_{con,Rd} \approx M_{Ed}$ : nodi bilanciati<br>$M_{con,Rd} > M_{Ed}$ : connessioni a complete ripristino di resistenza<br>$V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$ : pannello nodale forte<br>Con:<br>$F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ (i= 1 to 5 nodi con 6 sei file di bulloni e i= da1 a 3 per nodi con 4 file di bulloni), è l'azione trasversale di taglio nella connessione dovuta alle file di bulloni tesi<br>$F_{fbc,Rd}$ è la resistenza delle flange della trave a compressione | Equaljoints         |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |
| Rigidezza              | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Classificazione</th> <th>Telai controventati</th> <th>Telai</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nodi semi-rigidi</td> <td><math>0.5 \leq k_b &lt; 8</math></td> <td><math>0.5 \leq k_b &lt; 25</math></td> </tr> <tr> <td>Nodi rigidi</td> <td><math>k_b \geq 8</math></td> <td><math>k_b \geq 25</math></td> </tr> </tbody> </table> $k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$   | Classificazione     | Telai controventati | Telai | Nodi semi-rigidi | $0.5 \leq k_b < 8$ | $0.5 \leq k_b < 25$ | Nodi rigidi | $k_b \geq 8$ | $k_b \geq 25$ | EC3-1-8<br>5.2.2 |
| Classificazione        | Telai controventati   | Telai               |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |
| Nodi semi-rigidi       | $0.5 \leq k_b < 8$  | $0.5 \leq k_b < 25$ |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |
| Nodi rigidi            | $k_b \geq 8$  | $k_b \geq 25$       |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |
| Resistenza a taglio    | $V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$ : bilanciato a taglio<br>$V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$ : a complete ripristino a taglio   |                     |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |
| Duttilità              | $\beta_{max} \leq 1.0$ : grado 1<br>$\beta_{max} > 1.0$ e $\eta_{max} \leq 0.95$ : grado 2<br>con: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$ ; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$   | Equaljoints         |                     |       |                  |                    |                     |             |              |               |                  |

### 3.4.4.4. Caratterizzazione delle componenti

#### Resistenza a flessione

| Componente                        | Regole di dettaglio  | Riferimenti        |
|-----------------------------------|--|--------------------|
| Flangia della colonna a flessione | <p><b>Nodi a 4 file di bulloni</b></p>  <p><b>Nodi a 6 file di bulloni</b></p>  <p>Per ogni fila di bulloni o per ogni Gruppo di file, la resistenza si ottiene in accordo alla seguente relazione:</p> | EC3-1-8<br>6.2.6.4 |

| Componente | Regole di dettaglio   | Riferimenti |
|------------|---|-------------|
|            | <p>Per ogni fila di bulloni o per ogni Gruppo di file, la resistenza si ottiene in accordo alla seguente relazione:</p> $F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}] * \text{ or}$ $F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}] **$ <p>with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math display="block">F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}</math></li> <li>• <math display="block">F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}</math></li> <li>• <math display="block">F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}</math></li> <li>• <math display="block">F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}</math></li> </ul> <p>Dove:</p> $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $m = (w / 2 - t_{wc} / 2 - 0.8r_c)$ $n = \min[e, 1.25m] \text{ , per lo schema circolare si può impiegare } n = \infty.$ $e_w = d_w / 4$ <p><math>d_w</math> è il diametro della rondella o la distanza tra i vertici della testa del bullone o del dado.</p> <p>*Se sviluppano forze di contatto<br/> **Se non sviluppano forza di contatto</p> <p>NB EC1993-1-8 consente in ogni di considerare le forza di contatto per le connessioni bullonate. Alla luce dei risultati descritti nel progetto Equaljoints, tale disposizione risulta non conservativa e la presenza delle forza di contatto deve essere verificata caso per caso.</p> |             |

| Componente | Regole di dettaglio   | Riferimenti                          |
|------------|---|--------------------------------------|
|            | <p><b>Larghezze efficaci</b></p> <p>❖ <i>Connessione a 4 file di bulloni</i></p> <p><b>Fila 1:</b></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><b>Fila 2:</b></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><math>\alpha</math> è definita in Figura 6.11 nell' EC3-1-8, e dipende da:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e} ; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>N.B. In presenza dei piatti di continuità non si attiva effetto gruppo tra la prima e la seconda fila di bulloni</p> <p>❖ <i>Connessione a 6 file di bulloni</i></p> <p><b>Fila 1:</b></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m; 4m + 1.25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1.25e$ <p><b>Fila 1 del gruppo 1+2</b></p> $l_{eff,1} = \min[2p; p]$ $l_{eff,nc} = p$ <p><b>Fila 2:</b></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><b>Fila 2 del gruppo 1+2</b></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,1} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><b>Fila 3:</b></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><math>\alpha</math> è definita in Figura 6.11 nell' EC3-1-8, e dipende da:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>N.B. L'effetto Gruppo tra le prime due file di bulloni può condizionare la resistenza della singola fila; viceversa non si attiva l'effetto gruppo con la terza fila, per la presenza dei piatti di continuità.</p> | <p>Tabella<br/>6.5<br/>(EC3-1-8)</p> |

|                                 |   |                            |
|---------------------------------|---|----------------------------|
| Piastra d'estremità a flessione | <div style="text-align: center;"> <p>a) b)</p> <p>Casi con 4 file (a) e 6 file (b) di bulloni</p> </div> <p>Per ogni fila o per un Gruppo di file, la resistenza è ottenuta in accordo alla seguente relazione:</p> $F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}]^* \text{ or}$ $F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}]^{**}$ <p>Dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}</math></li> <li>• <math>F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}</math></li> <li>• <math>F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}</math></li> <li>• <math>F_{T,1,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}</math></li> </ul> <p>Dove:</p> $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$ $m = (w / 2 - t_{wc} / 2 - 0.8 r_c)$ $n = \min[e, 1.25m] \text{ , per uno schema circolare si può impiegare } n = \infty.$ $e_w = d_w / 4$ <p><math>d_w</math> è il diametro della rondella o la distanza tra i vertici della testa del bullone o del dado.</p> <p>*Se sviluppano forze di contatto<br/>                 **Se non sviluppano forza di contatto</p> | EC3-<br>1-8<br>6.2.6.<br>5 |
|---------------------------------|---|----------------------------|

| Componente | Regole di dettaglio  | Riferimenti |
|------------|--|-------------|
|            | <p><b>Larghezze efficaci</b></p> <p>❖ <i>Connessioni a 4 file di bulloni</i></p> <p><u>Fila 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ <p><u>Fila 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><math>\alpha</math> è definita in Figura 6.11 nell' EC3-1-8, e dipende da:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>❖ <i>Connessione a 6 file di bulloni:</i></p> <p><u>Fila 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ <p><u>Fila 1 del gruppo 1+2</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} \pi m + p \\ 2e_x + p \\ 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ <p><u>Fila 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Fila 2 del gruppo 1+2</u></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><u>Fila 3:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><math>\alpha</math> è definita in Figura 6.11 nell' EC3-1-8</p> |             |

| Componente   | Regole di dettaglio   | Riferimenti        |
|--|---|--------------------|
| Flangia ed anima della trave a compressione                | $F_{fbc,Rd} = M_{c,Rd} f_{y,b} / (h + \xi b - 0.5t_{fb})$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>h</math> è l'altezza della trave</li> <li>• <math>M_{c,Rd}</math> è la resistenza a flessione di progetto della sezione composta dalla trave e dall'irrigidimento, ridotta, se necessario, per l'interazione col taglio. (vedi EN 1993-1-1).</li> <li>• <math>t_{fb}</math> è lo spessore della flangia della trave connessa.</li> <li>• <math>\xi_b</math> è la posizione del centro di compressione</li> <li>• è l'altezza dell'irrigidimento</li> </ul>   | EC3-1-8<br>6.2.6.7 |
| Anima della Colonna e piatti di continuità in compressione | <p>La resistenza dell'anima della Colonna e dei piatti di continuità a compressione può essere determinata come:</p> $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ <p>Dove:</p> $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ <p><math>A_{cp}</math> è l'area dei piatti di continuità (entrambi i lati)<br/> Il fattore riduttivo <math>k_{wc}</math> tiene conto delle sollecitazioni assiali nella colonna, in accordo all' 6.2.6.2(2) of EC3-1-8.<br/> Il fattore riduttivo <math>\omega</math> è fornito dalla tabella 6.3 dell'EC3-1-8;<br/> NB: in presenza di piatti di continuità, l'erosione della resistenza dovuta ai fenomeni instabili nell'anima della colonna a compressione può essere trascurata.</p> | EC3-1-8<br>6.2.6.2 |
| Anima della trave a trazione                               | $F_{wbt,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ <p>La larghezza efficace <math>b_{eff,t,wb}</math> della trave deve essere assunta pari a quella del T-stub equivalente della piastra d'estremità alla corrispondente fila di bulloni o gruppo di file.</p>   | EC3-1-8<br>6.2.6.8 |
| Anima della Colonna a trazione                             | $F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ <p>La larghezza efficace <math>b_{eff,t,wc}</math> della trave deve essere assunta pari a quella del T-stub equivalente della flangia della colonna a flessione alla corrispondente fila di bulloni o gruppo di file.<br/> Il fattore riduttivo <math>\omega</math> è fornito dalla tabella 6.3 dell'EC3-1-8;</p>  | EC3-1-8<br>6.2.6.3 |

| Componente         | Regole di dettaglio   | Riferimenti      |
|--------------------|---|------------------|
| Bulloni a trazione | <p>La resistenza di una fila di bulloni (due bulloni) a trazione è data da:</p> $F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>Dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f_{ub}</math> è la resistenza ultima a trazione del bullone</li> <li>• <math>A_s</math> è l'area resistente</li> </ul> | EC3-1-8<br>3.6.1 |

### 3.4.4.5. Rigidezza delle componenti (per il nodo a flessione)

| Componente                         | Regole di dettaglio  | Riferimenti      |
|------------------------------------|--|------------------|
| Pannello nodale a taglio           | Per i nodi irrigiditi, il contributo $k_1$ è infinito, mentre per i nodi non-irrigiditi:<br>$k_1 = \frac{0.38 \cdot A_{VC}}{\beta z}$ Dove:<br>$\beta$ è definite dall'EN1993-1-8 pr. 5.3(7), e $z$ è il braccio di leva.  | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Flangia della Colonna a flessione  | Per una semplice fila di bulloni a trazione:<br>$k_4 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^2}{m^3}$ La larghezza efficace $l_{eff}$ è la minore tra quelle della fila di bulloni (single o come parte di un gruppo)   | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Piastra d'estremità a flessione    | Per una semplice fila di bulloni a trazione:<br>$k_5 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^2}{m^3}$ La larghezza efficace $l_{eff}$ è la minore tra quelle della fila di bulloni (single o come parte di un gruppo)  | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Anima della Colonna a trazione     | Per i nodi irrigiditi, il contributo $k_3$ è infinito, mentre per i nodi non-irrigiditi:<br>$k_3 = \frac{0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$ La larghezza efficace $b_{eff}$ è la minore tra quelle per la flangia della colonna della fila di bulloni (single o come parte di un gruppo) | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Bulloni a trazione:                | For simple bolt row in tension:<br>$k_{10} = \frac{1.6 \cdot A_s}{L_b}$  | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Irrigidimento nella zona compressa | $k_{RIB} = \frac{A_{eq}}{L_{Strut}} \cdot \cos(\alpha)$ dove (in accordo a Lee):<br>$A_e = \frac{\eta(ab - c^2)}{\sqrt{(a-c)^2 + (b-c)^2}}$ $L_e = (0.6)\sqrt{(a^2 + b^2)}$ $\alpha$ è l'inclinazione del pendolo equivalente.   | Equaljoints      |

### 3.4.4.6. Resistenza delle componenti (nodo a taglio)

| Componente   | Regole di dettaglio   | Riferimenti   |   |  |  |                  |
|--|---|---|---|--|--|------------------|
| Anima della trave a taglio   | $V_{b, RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ <p>Dove:</p> $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ if } \bar{\lambda}_w \geq 0.83;$ $\chi_w = 1.0 \text{ if } \bar{\lambda}_w < 0.83$ <p>Con <math>\bar{\lambda}_w = 0.3467 (h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}</math></p>  | EC3-1-5<br>5.3  |   |  |  |                  |
| Flangia della Colonna  | <p>Per una semplice fila (due bulloni) a taglio:</p> $F_{b, Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>Dove:</p> <p>Per I bulloni esterni: <math>k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]</math></p> <p>Per I bulloni interni: <math>k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5]</math></p> <p><math>\alpha_b</math> dipende dalla direzione del carico e dalla posizione della fila di bulloni</p> <p style="text-align: center;">Connessioni con 4 file di bulloni</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>File 1, 3 e 4:</p> <math display="block">\alpha_b = 1.0</math> <p>Fila 2:</p> <math display="block">\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]</math> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1, 2 and 4:</p> <math display="block">\alpha_b = 1.0</math> <p>Fila 3:</p> <math display="block">\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]</math> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Connessioni con 6 file di bulloni</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>File 1, 3 e 5</p> <math display="block">\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]</math> <p>File 2, 4 e 6</p> <math display="block">\alpha_b = 1.0</math> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1, 3, 5</p> <math display="block">\alpha_b = 1.0</math> <p>File 2, 4, e 6</p> <math display="block">\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]</math> </td> </tr> </table> | <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>File 1, 3 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fila 2:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ | <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1, 2 and 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fila 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ | <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>File 1, 3 e 5</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ <p>File 2, 4 e 6</p> $\alpha_b = 1.0$ | <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1, 3, 5</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>File 2, 4, e 6</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ | EC3-1-8<br>3.6.1 |
| <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>File 1, 3 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fila 2:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$      | <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1, 2 and 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fila 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$   |   |   |  |  |                  |
| <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>File 1, 3 e 5</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ <p>File 2, 4 e 6</p> $\alpha_b = 1.0$ | <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1, 3, 5</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>File 2, 4, e 6</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$  |   |   |  |  |                  |
| Piastra d'estremità  | <p>Per una semplice fila (due bulloni) a taglio:</p> $F_{b, Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>Per I bulloni esterni: <math>k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]</math></p> <p>Per I bulloni interni: <math>k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5]</math></p> <p><math>\alpha_b</math> dipende dalla direzione del taglio e dalla posizione della fila di bulloni:</p> <p style="text-align: center;">Connessioni a 4 file di bulloni:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>Fila 1:</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1 e 3:</p> </td> </tr> </table>  | <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>Fila 1:</p>  | <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1 e 3:</p>  | EC3-1-8<br>3.6.1   |  |                  |
| <p><i>Taglio direzionato verso il basso</i></p> <p>Fila 1:</p>   | <p><i>Taglio direzionato verso l'alto</i></p> <p>File 1 e 3:</p>  |   |   |  |  |                  |

|                  |  |  |                                |
|------------------|--|--|--------------------------------|
|                  | $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$<br><b>File 2 e 4 :</b><br>$\alpha_b = 1.0$<br><b>Fila 3:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$                         | $\alpha_b = 1.0$<br><b>Fila 2:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$<br><b>Fila 4:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$  |                                |
|                  | <b>Connessioni a 6 file di bulloni</b><br><i>Taglio direzionato verso il basso</i>   |  |                                |
|                  | <b>Fila 1:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$<br><b>File 2, 4 e 6:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$<br><b>File 3 e 5:</b><br>$\alpha_b = 1.0$ | <i>Taglio direzionato verso l'alto</i><br><b>File 1, 3 e 5:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$<br><b>File 2 e 4:</b><br>$\alpha_b = 1.0$<br><b>Fila 6:</b><br>$\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$ |                                |
| Bulloni a taglio | <b>F</b> Per una semplice fila (due bulloni) a taglio:<br>$F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ $\alpha_v = 0.5$ per bulloni di grado 10.9.       |  | <b>EC3-1-8</b><br><b>3.6.1</b> |

### 3.5. Nodi flangiati non irrigiditi

#### 3.5.1. Descrizione della configurazione del nodo

La configurazione del nodo è riportata in Figura 3.10. Essa corrisponde ad un collegamento con piastre terminali estese non irrigidite. In funzione della grandezza della trave, possono essere adottati 4 o 6 bulloni per riga. L'utilizzo di piatti aggiuntivi, è indispensabile, laddove si renda necessario un rinforzo dell'anima della colonna, mentre l'uso dei piatti di continuità (irrigidimenti trasversali della colonna) è raccomandato in tutti gli altri casi.

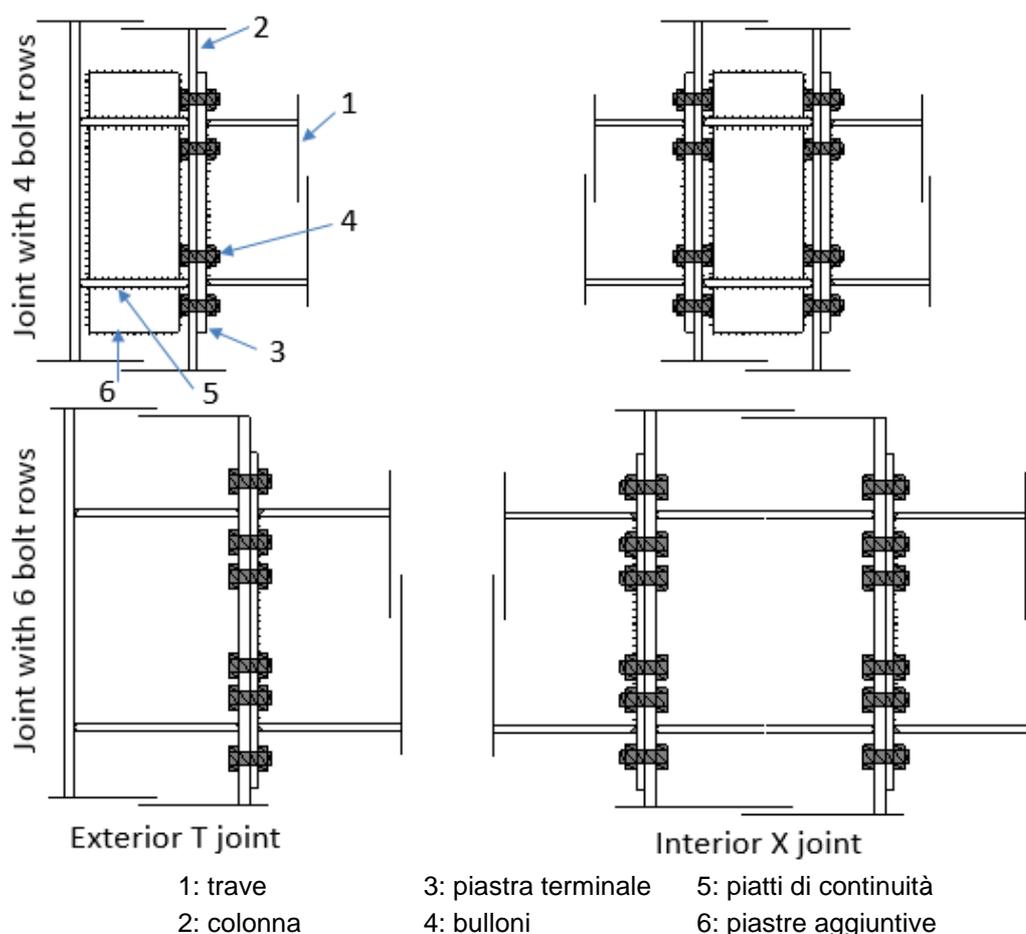


Figura 3.10 Descrizione di nodi flangiati non irrigiditi.

### 3.5.2. Sistemi strutturali in cui la connessione è codificata

Le connessioni bullonate con piastre terminali estese non irrigidite, codificate in questo documento, possono essere impiegate per i seguenti sistemi strutturali:

- Sistema accoppiato telaio-controvento concentrico (ossia MRF+ CBFs);
- Sistema accoppiato telaio-controvento eccentrico (ossia MRF+ EBFs);

Inoltre, suddetti collegamenti possono essere impiegati in sistemi costruttivi antisismici caratterizzati da travi e colonne disposte ortogonalmente e con campate regolari, tali sistemi sono chiamati “no sloped beam”.

### 3.5.3. Elenco dei valori limite dei dati codificati

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 3.5 sono riportati i valori limite dei dati codificati. Questa tabella sarà aggiornata fino al termine del progetto.

Tabella 3.5 Valori limite dei parametri

| Elementi | Parametri | Campo di applicazione |
|----------|-----------|-----------------------|
|----------|-----------|-----------------------|

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| <i>Trave</i>                | Altezza                                   | Max = 600mm  |
|                             | Rapporto larghezza/altezza                | Max = 23, Min = 10   |
|                             | Spessore flangia                          | Max = 19mm   |
|                             | Materiale                                 | da S235 a S355   |
| <i>Colonna</i>              | Altezza                                   | Max = 550mm  |
|                             | Spessore flangia                          | Max = 31mm   |
|                             | Materiale                                 | da S235 a S355   |
| <i>Trave/colonna</i>        |   |  |
| <i>Larghezza</i>            |   |  |
| <i>Piastra terminale</i>    | Spessore                                  | 18-25mm  |
|                             | Materiale                                 | da S235 a S355   |
| <i>Piatti di continuità</i> | Spessore                                  | Uguale o più grande della connessione trave-flangia  |
|                             | Materiale                                 | da S235 a S355   |
| <i>Piastre aggiuntive</i>   | Spessore                                  | Tabella 3.6  |
|                             | Materiale                                 | da S235 a S355   |
| <i>Bulloni</i>              | Dimensione                                | Tabella 3.6  |
|                             | classe                                    | HV10.9   |
|                             | Numero di bulloni per riga                | Tabella 3.6  |
|                             | rondella<br>fori                          |  |
| <i>Saldature</i>            | Piatto finale-flange della trave          | Saldature rinforzate a complete penetrazione (Figura 3.9)  |
|                             | Piatti di continuità-flange della colonna | Saldatura a complete penetrazione (Figura 3.9)   |
|                             | Piastre aggiuntive-flange della colonna   | Saldatura a complete penetrazione ((Figura 3.9)  |
|                             | Altre saldature                           | Saldature di raccordo: lo spessore di gola è 0.55 volte più grande dello spessore dei piatti di connessione. |

#### 3.5.4. Procedura di progetto

Dopo aver definito la geometria e i materiali del collegamento, di seguito vengono presentati i tre principali step del metodo delle componenti:

- Caratterizzazione delle componenti
- Procedura d'assemblaggio
- Classificazione del nodo e verifica di progettazione

##### 3.5.4.1. Procedura globale

Step 1: Scelta iniziale della geometria e del materiale del nodo

- Classe e dimensione dei bulloni, numero delle file di bullonatura
- Spessore e dimensione della piastra terminale
- Spessore e dimensione dei piatti di continuità
- Spessore e dimensione delle piastre aggiuntive (se previste)
- Specifiche di saldatura

**Step 2:** Definizione delle componenti

- Resistenze delle componenti (nodo soggetto a flessione)
- Rigidezze delle componenti (nodo soggetto a flessione)
- Resistenze delle componenti (nodo soggetto a taglio)

**Step 3:** Procedure di assemblaggio

- Resistenza della connessione soggetta a flessione
- Rigidezza del nodo soggetto a flessione
- Resistenza della connessione soggetta a taglio
- Grado di duttilità della connessione

**Step 4:** Classificazione del nodo e verifica di progettazione

- Resistenza a flessione
- Rigidezza flessionale
- Resistenza a taglio
- Duttilità
- Verifica

3.5.4.2. Scelta iniziale della geometria e del materiale del nodo

Le raccomandazioni fornite in Tabella 3.6 possono essere utilizzate per la definizione della geometria e del materiale della connessione.

Tabella 3.6 **Scelta iniziale delle geometrie e dei materiali dei nodi**

| Elemento               | Dimensione trave   |                           |                          |
|------------------------|--|---------------------------|--------------------------|
|                        | Piccola ( $\approx$ IPE360)  | Media ( $\approx$ IPE450) | Alta ( $\approx$ IPE600) |
| Classe bullone         | HV 10.9  |                           |                          |
| Dimensione bullone     | M27  | M30                       | M36                      |
| Numero file di bulloni | 4  | 4                         | 6                        |
| Piastra terminale      | <p><i>Spessore:</i> <math>t_{ep}=(1/2 \div 2/3)d_b</math> per connessioni parziali; <math>t_{ep}=(2/3 \div 5/6)d_b</math> per equal joints; ma dovrebbe essere inferiore allo spessore delle flange della colonna.</p> <p><i>Dimensioni:</i> La larghezza dovrebbe essere uguale ad una delle flange della colonna. La parte estesa dovrebbe essere sufficiente all'inserimento di una fila di bulloni, in conformità con le prescrizioni fornite in EC3-1-8 (§3.5).</p> |                           |                          |
| Piastre aggiuntive     | <p>Con colonne HEB e travi IPE, le piastre aggiuntive saranno considerate solo quando è richiesto un più rigido pannello d'anima. Lo spessore e le dimensioni delle piastre aggiuntive dovranno essere conformi alle prescrizioni dell' EC3-1.8 (§ 6.2.6.1).</p>   |                           |                          |

Piatti di continuità  
 Dettagli di saldatura

Tabella 3.5

Note:  $t_{ep}$  è lo spessore della piastra terminale  $d_b$  è il diametro nominale dei bulloni.

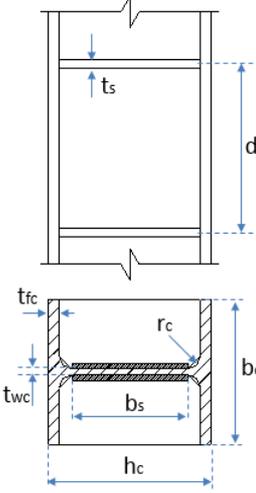
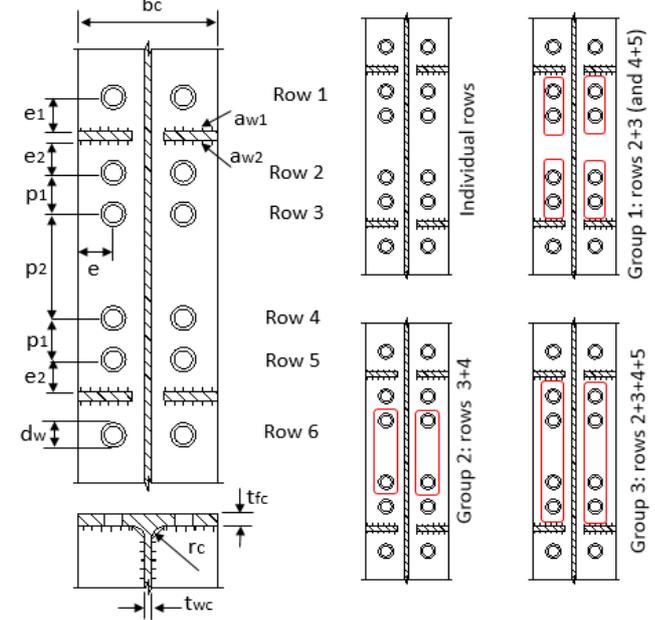
### 3.5.4.3. Procedura di assemblaggio e verifiche di progettazione

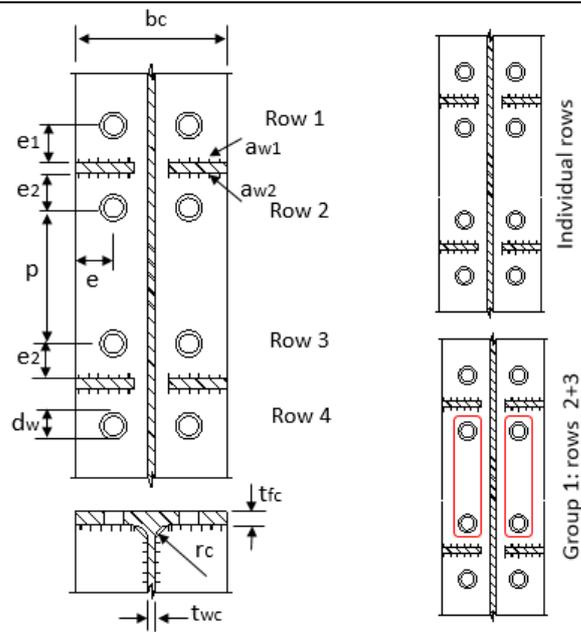
| Classificazione tipo            | Criteri   | Riferimenti                    |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
|---------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|--|--------------|---------------|--|----------------------------|--|------------------|
| Resistenza a flessione          | $M_{con,Rd} < M_{con,Ed}$ : connessioni parziali<br>$M_{con,Rd} \approx M_{con,Ed}$ : connessioni uguali<br>$M_{con,Rd} > M_{con,Ed}$ : connessioni a complete ripristino di resistenza<br>$V_{wp,Rd} < \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$ : pannello d'anima debole<br>$V_{wp,Rd} \approx \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$ : pannello d'animo bilanciato<br>$V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$ : pannello d'anima forte<br>con:<br>$F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ ( $i = 1$ a 5 per nodi con 6 file di bulloni e $i = 1$ to 3 per nodi con 4 file di bulloni), rappresenta la forza trasversale di taglio nella connessione causata dalla fila di bulloni in trazione.<br>$F_{fbc,Rd}$ è la resistenza della flangia e dell'anima della trave in compressione | Equaljoints                    |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
| Classificazione della rigidezza | <table border="0"> <tr> <td><i>Classificazione</i></td> <td><i>Telai controventati</i></td> <td><i>Telai non controventati</i></td> </tr> <tr> <td>Nodi semirigidi e rigidi</td> <td><math>0.5 \leq k_b &lt; 8</math></td> <td><math>0.5 \leq k_b &lt; 25</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td><math>k_b \geq 8</math></td> <td><math>k_b \geq 25</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>k_b = S_j / (EI_b / L_b)</math></td> </tr> </table>  | <i>Classificazione</i>         | <i>Telai controventati</i> | <i>Telai non controventati</i> | Nodi semirigidi e rigidi | $0.5 \leq k_b < 8$ | $0.5 \leq k_b < 25$ |  | $k_b \geq 8$ | $k_b \geq 25$ |  | $k_b = S_j / (EI_b / L_b)$ |  | EC3-1-8<br>5.2.2 |
| <i>Classificazione</i>          | <i>Telai controventati</i>  | <i>Telai non controventati</i> |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
| Nodi semirigidi e rigidi        | $0.5 \leq k_b < 8$  | $0.5 \leq k_b < 25$            |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
|                                 | $k_b \geq 8$  | $k_b \geq 25$                  |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
|                                 | $k_b = S_j / (EI_b / L_b)$  |                                |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
| Resistenza a taglio             | $V_{con,Rd} < V_{b,Rd}$ : resistenza parziale a taglio<br>$V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$ : uguale resistenza a taglio<br>$V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$ : resistenza maggiore a taglio  |                                |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |
| Classificazione della duttilità | $\beta_{max} \leq 1.0$ : grado di duttilità pari a 1<br>$\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$ : grado di duttilità pari a 2<br>con: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$ ; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$   | Equaljoints                    |                            |                                |                          |                    |                     |  |              |               |  |                            |  |                  |

### 3.5.4.4. Caratterizzazione delle componenti

*Resistenze delle componenti (nodo soggetto a flessione)*

| Componenti             | Relazioni di dettaglio   | Riferimenti        |
|------------------------|--|--------------------|
| Pannello d'anima della | $V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{yc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} + \frac{4 (0.25 t_s^2 f_{y,s}) (b_c - t_{wc} - 2 r_c)}{d_s}$ | EC3-1-8<br>6.2.6.1 |

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| <p>colonna<br/>soggetta<br/>a<br/>taglio</p>                                |  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pannello d'anima della colonna soggetto a taglio con traversi di irrigidimento e senza piastre aggiuntive:<br/> <math display="block">A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc}</math></li> <li>• Pannello d'anima della colonna soggetto a taglio con traversi di irrigidimento e con piastre aggiuntive:<br/> <math display="block">A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} + t_{wc} b_s</math></li> </ul> |                            |
| <p>Sezione<br/>trasversale<br/>della trave<br/>soggetta a<br/>flessione</p> | $M_{b,Rd} = W_{b,p} f_{y,b}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W_{b,p}</math> è il modulo di resistenza plastica della trave in flessione.</li> <li>• <math>f_{y,b}</math> è la tensione di snervamento del materiale della trave.</li> </ul>  |                            |
| <p>Flangia della<br/>colonna in<br/>flessione</p>                           |  <p style="text-align: center;">Casi di 6 file di bulloni</p>  | <p>EC3-1-8<br/>6.2.6.4</p> |



**Casi di 4 file di bulloni**

Per ogni fila o gruppo di file di bulloni, la resistenza è ottenuta usando la seguente formula:

$$F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}] \text{ con}$$

- $F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$
- $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$

In cui:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_{fc}^2 f_{y,fc} / \gamma_{M0}$$

$$m = 0,5(b_c - 2e - t_{wc} - 1,6r_c)$$

$n = \min[e, 1,25m]$  , può essere utilizzato  $n = \infty$  per una disposizione circolare.

$$e_w = 0,25d_w \text{ (con } d_w \text{ è il diametro della rondella)}$$

**Lunghezze efficaci**

❖ Connessione con 6 file di bulloni

**Fila 1:**

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$$

$$l_{eff,2} = \alpha m$$

**Fila 2 (o fila 5):**

**Fila singola:**

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$$

$$l_{eff,2} = \alpha m$$

**Prima fila del gruppo 1 o del gruppo 3**

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0,5 p_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)]$$

$$l_{eff,2} = 0,5 p_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$$

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p><b><u>Fila 3 (o fila 4):</u></b><br/>         singola:<br/> <math display="block">l_{eff,1} = \min[2\pi m, \quad 4m + 1, 25e]</math> <math display="block">l_{eff,2} = 4m + 1, 25e</math> <b>Ultima fila del gruppo 1:</b><br/> <math display="block">l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, \quad 2m + 0.625e + 0.5p_1]</math> <math display="block">l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_1</math> <b>Una fila del gruppo 2:</b><br/> <math display="block">l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, \quad 0.5p_2 + 0.5\alpha m]</math> <math display="block">l_{eff,2} = 0.5p_2 + 0.5\alpha m</math> <b>Fila intermedia del gruppo 3:</b><br/> <math display="block">l_{eff,1} = p_1 + p_2</math> <math display="block">l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)</math> <math>\alpha</math> è data dalla Figura 6.11 in EC3-1-8, in funzione di:<br/> <math display="block">\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}</math>         dove:<br/> <math>m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2}</math> per la fila 1<br/> <math>m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2}</math> per la fila 2 o 5<br/>         ❖ Connessione con 4 file di bulloni</p> <p><b><u>Fila 1:</u></b><br/> <math display="block">l_{eff,1} = \min[2\pi m, \quad \alpha m]</math> <math display="block">l_{eff,2} = \alpha m</math> <b><u>Fila 2:</u></b><br/>         singola:<br/> <math display="block">l_{eff,1} = \min[2\pi m, \quad \alpha m]</math> <math display="block">l_{eff,2} = \alpha m</math> <b>Una fila del gruppo 2 +3</b><br/> <math display="block">l_{eff,1} = \min[\pi m + p, \quad 0.5p + 0.5\alpha m]</math> <math display="block">l_{eff,2} = 0.5p + 0.5\alpha m</math> <b><u>Fila 3: simile alla fila 2</u></b><br/> <math>\alpha</math> è data dalla Figura 6.11 in EN-1993-1-8, in funzione di:<br/> <math display="block">\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}</math>         dove:<br/> <math>m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2}</math> per la fila 1<br/> <math>m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2}</math> per la fila 2 o 3</p> |  |
|--|--|--|

|                                       |  |                            |
|---------------------------------------|--|----------------------------|
| <p>Piastra terminale in flessione</p> | <p>Casi di 6 file di bulloni</p> <p>Casi di 4 file di bulloni</p> <p>Per ogni fila o gruppo di file di bulloni, la resistenza è ottenuta dalla seguente formula:</p> $F_{pb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}] \text{ con}$ <ul style="list-style-type: none"> <li> <math display="block">F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}</math> </li> <li> <math display="block">F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}</math> </li> </ul> <p>In cui: <math>M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,1} t_{ep}^2 f_{y,ep} / \gamma_{M0}</math><br/> <math>M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma \ell_{eff,2} t_{ep}^2 f_{y,ep} / \gamma_{M0}</math></p> $\begin{cases} m = 0,5(b_{ep} - 2e - t_{bw} - 1,6a_w \sqrt{2}) \\ n = \min[e, 1,25m] \end{cases}$ <p>per le file di bulloni che interessano le flange delle travi</p> | <p>EC3-1-8<br/>6.2.6.5</p> |
|---------------------------------------|--|----------------------------|

$$\begin{cases} m = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \\ n = \min[e_x, 1.25m] \end{cases} \text{ per le file che non interessano le flange delle travi}$$

(con disposizione circolare, può essere utilizzato  $n=\infty$ ).

$$e_w = 0.25d_w$$

**Lunghezze efficaci**

❖ *Connessioni con 6 file di bulloni*

**Fila 1:**

$$l_{eff,1} = \min \left\{ 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e, 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \right\}$$

$$l_{eff,2} = \min \left\{ 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \right\}$$

**Fila 2 (o 5):**

*Fila singola:*

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$$

$$l_{eff,2} = \alpha m$$

*Prima fila del gruppo 1 (file 2+3 o 4+5)*

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)]$$

$$l_{eff,2} = 0.5p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)$$

**Fila 3 (o 4):**

*Fila singola:*

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, 4m + 1.25e]$$

$$l_{eff,2} = 4m + 1.25e$$

*Ultima fila del gruppo 1 (file 2+3 o 4+5):*

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 2m + 0.625e + 0.5p_1]$$

$$l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_1$$

*Prima fila (o ultima fila) del gruppo 2 (file 3+4):*

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, 2m + 0.625e + 0.5p_2]$$

$$l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5p_2$$

*Fila intermedia del gruppo 3 (file 2+3+4+5):*

$$l_{eff,1} = p_1 + p_2$$

$$l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$$

$\alpha$  è dato da Figura 6.11 in EN-1993-1-8, in funzione di:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$

dove:

$$m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ per la fila 1}$$

$$m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ per la fila 2}$$

❖ *Connessioni con file di 4 bulloni:*

**Fila 1:**

$$l_{eff,1} = \min \left\{ 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e, 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \right\}$$

$$l_{eff,2} = \min \left\{ 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \right\}$$

|  |  |                    |
|--|--|--------------------|
|  | <p><b>Fila 2:</b><br/> <b>Fila singola:</b><br/> <math>l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]</math><br/> <math>l_{eff,2} = \alpha m</math></p> <p><b>Una fila del gruppo 2+3:</b><br/> <math>l_{eff,1} = \min[\pi m + p, 0.5p + 0.5\alpha m]</math><br/> <math>l_{eff,2} = 0.5p + 0.5\alpha m</math></p> <p><b>Fila 3: simile alla fila 2:</b><br/> <math>\alpha</math> è dato da Figura 6.11 in EC3-1-8, in funzione di:<br/> <math>\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}</math><br/> <math>m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2}</math> per la fila 1<br/> <math>m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2}</math> per la fila 2 o 3</p>  |                    |
| Flange e anima della trave in compressione                 | $F_{fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb})$<br>dove: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>h</math> è l'altezza della trave connessa;</li> <li>• <math>M_{c,Rd}</math> è il momento resistente di progetto della trave, ridotto se necessario per la verifica a taglio, vedi EN 1993-1-1.</li> <li>• <math>t_{fb}</math> è lo spessore della flangia della trave connessa.</li> </ul>   | EC3-1-8<br>6.2.6.7 |
| Anima della Colonna e piatti di continuità in compressione | La resistenza della colonna e dei piatti di continuità dovrebbe essere stimata come:<br>$F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ dove:<br>$b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$<br>$A_{cp}$ è l'area dei piatti di continuità (su entrambi i lati);<br>Il coefficient di riduzione $k_{wc}$ tiene conto dello sforzo assiale nell'anima della colonna, dato nel paragrafo 6.2.6.2(2) dell' EC3-1-8;<br>Il fattore di riduzione $\omega$ è data in Tabella 6.3 dell' EC3-1-8;<br><b>Nota:</b> Viene trascurata la riduzione causata dall'instabilità dell'anima della colonna e del piatto di continuità sotto traversi in compressione. Per verificare questa condizione, in Tabella 4.3.1. sarà mostrata la geometria (la snellezza) del piatto di continuità. | EC3-1-8<br>6.2.6.2 |
| Anima della trave in trazione                              | $F_{wbt,Rd} = b_{eff,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$<br>La larghezza efficace $b_{eff,t,wb}$ dell'anima della trave in trazione dovrebbe essere considerate uguale alla lunghezza efficace di un T-stub equivalente rappresentante la piastra terminale in flessione per una singola fila o gruppo di bulloni.  | EC3-1-8<br>6.2.6.8 |
| Anima della colonna in trazione                            | $F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ La larghezza efficace $b_{eff,t,wc}$ della flangia della colonna in trazione dovrebbe essere considerate uguale alla lunghezza efficace di un T-stub equivalente rappresentante la flangia della colonna in flessione per una singola fila o gruppo di bulloni.<br>Il fattore di riduzione $\omega$ è fornito dalla Tabella 6.3 in EC3-1-8.   | EC3-1-8<br>6.2.6.3 |

|                     |  |                  |
|---------------------|--|------------------|
| Bulloni in trazione | La resistenza di una fila di bulloni(2 bulloni) in trazione è data da:<br>$F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ dove: <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>f_{ub}</math> è la tensione a trazione ultima del bullone;</li><li>• <math>A_s</math> è l'area di tensione del bullone.</li></ul> | EC3-1-8<br>3.6.1 |
|---------------------|--|------------------|

**Rigidezze delle componenti (nodo soggetto a flessione)**

| Componenti  | Regole di dettaglio  | Riferimenti      |
|---|--|------------------|
| Pannello dell'anima della Colonna soggetto a Taglio | $k_1 = \frac{0.38A_{vc}}{\beta z}$ <p>Il parametro di trasformazione <math>\beta</math> è dato dalla Tabella 5.4 of EC3-1-8.<br/>                     Il braccio di leva, z, della connessione è dato dall' EC-1-8, 6.3.3.1.</p>   | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Flangia della Colonna in flessione                  | <p>Per una singola fila di bulloni in trazione:</p> $k_4 = \frac{0.9b_{eff,cf}t_{fc}^3}{m^3}$ <p>La larghezza efficace <math>b_{eff}</math> è la più piccola lunghezza efficace della fila di bulloni (singola o come parte di un gruppo di file di bulloni).</p>  | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Piastra terminale in flessione                      | <p>Per una singola fila di bulloni in trazione:</p> $k_5 = \frac{0.9b_{eff,ep}t_{ep}^3}{m^3}$ <p>La larghezza efficace <math>b_{eff}</math> è la più piccola lunghezza efficace della fila di bulloni (singola o come parte di un gruppo di file di bulloni).</p>  | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Anima della Colonna in trazione                     | <p>Per una singola fila di bulloni in trazione:</p> $k_3 = \frac{0.7b_{eff,wc}t_{wc}}{d_c}$ <p>La larghezza efficace <math>b_{eff}</math> è la più piccola lunghezza efficace della fila di bulloni (singola o come parte di un gruppo di file di bulloni) dei component della flangia della colonna in flessione.</p> | EC3-1-8<br>6.3.2 |
| Bulloni in trazione                                 | <p>Per una singola fila di bulloni in trazione:</p> $k_{10} = 1.6A_s / L_b$  | EC3-1-8<br>6.3.2 |

**Resistenza delle componenti (nodo soggetto a taglio)**

| Componenti                          | Regole di dettaglio   | Riferimenti      |
|-------------------------------------|---|------------------|
| Anima della trave soggetta a taglio | $V_{b,RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ <p>dove:</p> $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ if } \bar{\lambda}_w \geq 0.83 ;$ $\chi_w = 1.0 \text{ if } \bar{\lambda}_w < 0.83$ <p>con <math>\bar{\lambda}_w = 0.3467(h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}</math></p> | EC3-1-5<br>5.3   |
| Flangia della Colonna in flessione  | <p>Per una singola fila di bulloni (2 bulloni) soggetta a taglio:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u dt_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>dove:</p> $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$ <p><math>\alpha_b</math> dipende dalla direzione dell'azione di taglio e dalla posizione della fila di bulloni:</p>                                 | EC3-1-8<br>3.6.1 |

|   |   |   |   |                  |
|---|---|---|---|------------------|
|   | <p><i>Azione tagliante verso il basso</i></p> <p>File bulloni 1, 5 e 6 (o (*) file 1, 3 e 4):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>file 2 e 4 (o(*) : fila 2):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 3:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>(*): usato per nodi con 4 file di bulloni (p<sub>1</sub> dovrebbe essere sostituito con p)</p>  | <p><i>Azione tagliante verso il alto</i></p> <p>File 1, 2 e 6 (o(*) file 1, 2 e 4)<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>file 3 and 5 (o(*) fila 3)<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 4:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p>  |   |                  |
| Rifollamento della piastra terminale  | <p>Per una singola fila di bulloni (2 bulloni) soggetta a taglio:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$ <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Azione tagliante verso il basso:</i></p> <p>File 2 e 6 (o(*) file 2 e 4):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>Fila 1 (o(*) fila 1):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, e_x/3d_0]</math></p> <p>file 3 5 (o(*) fila 3):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 4:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>(*): usato per nodi con 4 file di bulloni(p<sub>1</sub> dovrebbe essere sostituito con p)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Azione tagliante verso l'alto:</i></p> <p>file 1 e 5 (o(*) file 1 e 3):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>fila 6 (o(*) fila 4):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, e_x/3d_0]</math></p> <p>file 2 e 4 (o(*) : fila 2)<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 3:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p> </td> </tr> </table> | <p><i>Azione tagliante verso il basso:</i></p> <p>File 2 e 6 (o(*) file 2 e 4):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>Fila 1 (o(*) fila 1):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, e_x/3d_0]</math></p> <p>file 3 5 (o(*) fila 3):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 4:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>(*): usato per nodi con 4 file di bulloni(p<sub>1</sub> dovrebbe essere sostituito con p)</p> | <p><i>Azione tagliante verso l'alto:</i></p> <p>file 1 e 5 (o(*) file 1 e 3):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>fila 6 (o(*) fila 4):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, e_x/3d_0]</math></p> <p>file 2 e 4 (o(*) : fila 2)<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 3:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p> | EC3-1-8<br>3.6.1 |
| <p><i>Azione tagliante verso il basso:</i></p> <p>File 2 e 6 (o(*) file 2 e 4):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>Fila 1 (o(*) fila 1):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, e_x/3d_0]</math></p> <p>file 3 5 (o(*) fila 3):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 4:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>(*): usato per nodi con 4 file di bulloni(p<sub>1</sub> dovrebbe essere sostituito con p)</p> | <p><i>Azione tagliante verso l'alto:</i></p> <p>file 1 e 5 (o(*) file 1 e 3):<br/> <math>\alpha_b = 1.0</math></p> <p>fila 6 (o(*) fila 4):<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, e_x/3d_0]</math></p> <p>file 2 e 4 (o(*) : fila 2)<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_1/3d_0 - 0.25]</math></p> <p>Fila 3:<br/> <math>\alpha_b = \min[1.0, p_2/3d_0 - 0.25]</math></p>   |   |   |                  |
| Bulloni soggetti a taglio   | <p>Per una singola fila di bulloni (2 bulloni) soggetta a taglio:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p><math>\alpha_v = 0.6</math> per bulloni di classe 8.8 e <math>\alpha_v = 0.5</math> per bulloni di classe 10.9.</p>   |   | EC3-1-8<br>3.6.1  |                  |

### 3.6. Nodi Dog-Bone

I nodi dog-bone o di tipo RBS (reduced beam section) sono stati considerati nel progetto EqualJoints come parte dello studio riguardante l'uso di acciaio europeo in assemblaggi di colonne di grandi dimensioni che incorporano questo tipo di connessione dissipativa nella pratica costruttiva statunitense. Di conseguenza, rappresentano un caso speciale, che non è direttamente correlato con le altre configurazioni di connessione discusse in precedenza, (ad esempio, connessioni con costolature o flangiate), il progetto seguirà principalmente le disposizioni AISC (vedi configurazione tipica (Figura 6.1)), sebbene alcuni aspetti, come quelli relativi al progetto del pannello d'anima, possano essere sostituiti direttamente dalle raccomandazioni fatte sopra per i giunti a completo ripristino riguardanti le altre configurazioni analizzate seguendo la pratica europea.

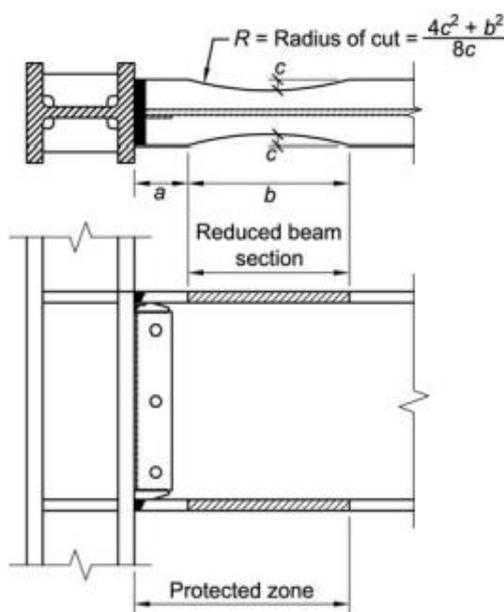


Figura 6.6 Configurazioni e dimensioni di sezioni di tipo RBS in acciaio (ANSI/AISC 358)

Su questa base, il progetto deve seguire i requisiti dell'AISC 341 (disposizioni sismiche per gli edifici in acciaio strutturale), AISC 358-16 (collegamenti prequalificati per applicazioni sismiche) e AISC 360 (specifica per edifici in acciaio strutturale).

In base a quanto sopra, la progettazione segue la seguente procedura:

1. Controllare l'instabilità locale della trave ai fini sismici  
$$b_{bf}/(2t_{fb}) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{(E/f_y)}$$
2. Controllare l'instabilità locale della colonna ai fini sismici  
$$b_{cf}/(2t_{fc}) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{(E/f_y)}$$
3. Controllare le limitazioni riguardanti le travi secondo le AISC 358 Sezione 5.3.1

Notando tuttavia che in base ai test effettuati nel progetto EqualJoints, le dimensioni della trave possono essere estese dall'altezza di W36 a W44 che ha dimostrato un comportamento adeguato secondo i requisiti di prequalificazione.

4. Controllare le limitazioni riguardanti le travi secondo le AISC 358 Sezione 5.3.2

Notando tuttavia che in base ai test effettuati nel progetto EqualJoints, le dimensioni delle colonne possono essere estese da un'altezza di W36 a W40, che ha dimostrato un comportamento adeguato ai requisiti di prequalifica.

5. Determinare il modulo plastico della sezione ridotta (AISC 358 Sezione 5.8, Punto 2)

$$Z_{RBS} = Z_x - 2 c t_{fb} (h_b - t_{fb})$$

dove:

$Z_{RBS}$  è il modulo plastico della sezione ridotta

$Z_{pl,x}$  è il modulo plastico della sezione lungo l'asse x della sezione della trave non ridotta

$t_{fb}$  è lo spessore della flangia della trave

$h_b$  è l'altezza della trave

$c$  è la profondità del taglio al centro della sezione ridotta.

6. Determinare il momento massimo probabile nella sezione ridotta (AISC 358 Sez 5.8 Punto 3)

$$M_{pr} = M_{RBS} = C_{pr} R_y f_y Z_e$$

dove:

$C_{pr}$  è un fattore che tiene in considerazione la forza di connessione di picco, tra cui l'incrudimento, il vincolamento locale, i rinforzi aggiuntivi e altre condizioni di connessione, calcolate come

$$= \frac{f_y + f_u}{2f_y} \leq 1.2$$

$R_y$  Rapporto tra la tensione di snervamento prevista e la tensione minima di snervamento specificata,  $f_y$

7. Calcolo dello sforzo di taglio al centro della sezione ridotta RBS (AISC 358 Sezione 5.8 Punto 4)

$$V_p = V_{RBS} = 2 M_{pr} / L_h + V_g$$

8. Calcolo del taglio corrispondente nella colonna

$$V_c = N_b V_e L_b / (N_c h_c)$$

9. Calcolo del momento Massimo probabile in corrispondenza della faccia della colonna (AISC 358 Sect 5.8 Step 5)

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h + M_g$$

Dove:

$$M_g = \frac{1}{2} W_{ub} S_h^2$$

10. Calcolare il valore medio del momento plastico della trave (AISC 358 Sezione 5.8 Punto 6)

$$M_{pe} = R_y f_y Z_{bx}$$

11. Controllare che la resistenza a flessione non ecceda  $\Phi_d M_{pe}$  (AISC 358 Sezione 5.8 Punto 7)

$$M_f < \Phi_d M_{pe}$$

12. Calcolare e controllare la forza concentrata sulla colonna

$$\begin{aligned} P_b &\leq \Phi f_y w_{tw} (5k + l_b) \\ &\leq \Phi 0.8 t_w^2 [1 + 3 (l_b / d) (t_w / t_f)^{1.5}] (E f_{yw} t_f / t_w)^{1/2} \\ &\leq \Phi 6.25 f_{yf} t_f^2 \end{aligned}$$

Dove:

$$P_b = M_f b_{fb} t_{fb} / Z_x$$

13. Controllare il rapporto del momento colonna-trave (AISC 341 Sezione 9.6)

$$\Sigma M_{pc}^* / \Sigma M_{pb}^* > 1.0$$

dove:

$\Sigma M_{pc}^*$  è la somma dei momenti nella colonna sopra e sotto il collegamento all'intersezione tra la mezzera della trave e della colonna

$$= \Sigma [ Z_c ( f_{yc} - P_{uc} / A_g ) + V_c d_b / 2 ]$$

$\Sigma M_{pb}^*$  è la somma dei momenti nelle travi all'intersezione dell'asse della colonna e della trave

$$= N_b M_{RBS} + \Sigma M_v$$

$\Sigma M_v$  è il momento aggiuntivo dovuto all'amplificazione a taglio dovuto all'eccentricità tra la posizione della cerniera plastica e l'asse della colonna

$$= ( V_{RBS} + V'_{RBS} ) ( a + b / 2 + d_c / 2 )$$

14. Controllare la resistenza al taglio del pannello nodale (AISC341 Sezione 9.3)

$$0.75 P_c > P_r$$

$$\phi_v R_n > \Sigma M_f / ( d_b - t_{fb} ) - V_c$$

15. Calcolare lo spessore richiesto dei piatti di accoppiamento

$$R_u \leq \phi R_{ncol} + \phi R_{ndp}$$

$$t_{dp} \geq ( R_u - \phi R_{ncol} ) / ( 0.6 f_y d_c )$$

16. Controllare lo spessore richiesto dell'anima della colonna e del piatto di continuità se presente.

$$t \geq ( d_z + w_z ) / 90$$

17. Controllare se i piatti di continuità sono necessari (AISC 358 punto 10)

$$t_{fc} \geq 0.4 [ 1.8 b_b f_t b_f ( F_{yb} R_{yb} ) / ( F_{yc} R_{yc} ) ] 0.5$$

$$t_{fc} \geq b_{fb} / 6 \text{ or } 12$$

18. Calcolare lo spessore richiesto dei piatti di continuità

$$\text{Check 1: } t_s \geq 0.5 t_{bf}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Check 2:} & P_b & \leq \quad \phi R_{ncol} + \phi R_{ncp} \\ f_s & & \geq \quad ( P_b - \phi R_{ncol} ) / ( 0.9 f_y b_{bf} ) \end{array}$$

Come indicato sopra, il progetto segue i requisiti di AISC 341 (disposizioni sismiche per gli edifici in acciaio strutturale), AISC 358-16 (collegamenti prequalificati per applicazioni sismiche) e AISC 360 (specificata per edifici in acciaio strutturale). Ciò è coerente con lo scopo dei test effettuati nell'ambito del progetto che non ha esaminato la modalità di progettazione europea o le membrane europee, ma si è invece concentrato sulla convalida dell'uso del acciaio europeo progettato secondo le disposizioni statunitensi e adottato nelle pratiche costruttive degli Stati Uniti.

## BIBLIOGRAFIA

American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 341-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010

American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 360-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010

American Society for Testing and Materials (ASTM) (2011). "Standard Practices for Cycle-Counting in Fatigue Analysis." ASTM Standard E1049-85, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

ANSI/AISC 358-10 (2010). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.

ANSI/ASIC 341-16 (2016): *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction

Arce G. *Impact of higher strength steels on local buckling and overstrength of links in eccentrically braced frames*. MS thesis, Univ.of Texas at Austin, Austin, Tex. (advisor: M.D. Engelhardt).

ASTM E606 / E606M-12 (2012) *Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org)

Bjorhovde R, Colson A. (1991) *Economy of semi-rigid frame design*, in *Connections in Steel Structures II: Behaviour, Strength and Design*, Bjorhovde, R., Haaijer, G., and Stark, J.W.B (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.

Haaijer G, and Stark JWB (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.

Brandonisio G, De Luca A., Mele E. (2012). *Shear strength of panel zone in beam-to-column connections*. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 129–142.

CEN (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints*. European Committee for Standardization (CEN), 2005.

CEN (2005). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*. European Standard EN 1998-3:2005, Brussels.

D'Aniello M, Landolfo R, Piluso V, Rizzano G. (2012). *Ultimate Behaviour of Steel Beams under Non-Uniform Bending*. *Journal of Constructional Steel Research*, 78, 144–158.

Güneyisi EM, D'Aniello M, Landolfo R, Mermerdaş K. (2013). *A novel formulation of the flexural overstrength factor for steel beams*. *Journal of Constructional Steel Research*, 90, 60-71

Güneyisi EM, D'Aniello M, Landolfo R, Mermerdaş K. (2014). *Prediction of the flexural overstrength factor for steel beams using artificial neural network*. *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 17(3), 215-236.

Mazzolani FM, Piluso V. (1992). *Member behavioural classes of steel beams and beam-columns*. *Proc. of First State of the Art Workshop, COSTI, Strasbourg*, 517-29.

Tartaglia R, D'Aniello M, Rassati GA, Swanson JA, Landolfo R. (2018). *Full strength extended stiffened end-plate joints: AISC vs recent European design criteria*. *Engineering Structures, Volume 159*, 15 March 2018, Pages 155–171