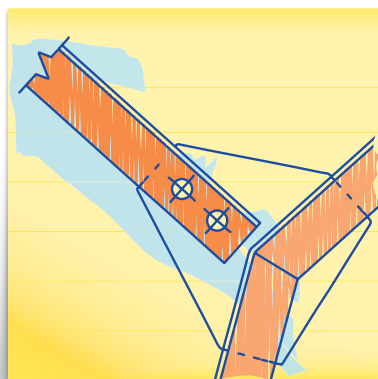


Alfredo Boracchini

# COLLEGAMENTI IN ACCIAIO

## PROGETTO E CALCOLO DI GIUNZIONI BULLONATE

SECONDO LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, GLI EUROCODICI  
E LE AISC (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION)



### SOFTWARE INCLUSO

**Glossario** (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),  
**Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



## SOMMARIO

<b>INTRODUZIONE</b> .....	p.	11
<b>1. CONCETTI FONDAMENTALI PER IL PROGETTO DELLA STRUTTURA RELATIVAMENTE ALLE GIUNZIONI</b> .....	"	13
<b>1.1. Cerniere e giunzioni in grado di resistere un momento</b> .....	"	13
<b>1.1.1. Sicurezza, performance, costi</b> .....	"	13
<b>1.1.2. Sistema laterale resistente</b> .....	"	13
<b>1.1.3. Cerniere ed incastri             nel modello di calcolo ad elementi finiti</b> .....	"	18
<b>1.2. La cerniera plastica</b> .....	"	19
<b>1.2.1. Piatto di base</b> .....	"	20
<b>1.2.2. Capriate</b> .....	"	22
<b>2. CONCETTI FONDAMENTALI PER L'ANALISI DELLE GIUNZIONI</b> .....	"	23
<b>2.1. Divisione giunzioni</b> .....	"	23
<b>2.2. Schema di calcolo ed azioni</b> .....	"	24
<b>2.3. Sforzi proporzionali a rigidezza</b> .....	"	27
<b>2.4. Duttilità</b> .....	"	28
<b>2.5. "Load path" ovvero tragitto delle forze</b> .....	"	28
<b>2.6. Ignoranza del tragitto delle forze</b> .....	"	30
<b>2.7. Vincoli ulteriori</b> .....	"	30
<b>2.8. Metodi per definire gli stati limite ultimi nelle giunzioni</b> .....	"	31
<b>2.9. Resistenza dei bulloni</b> .....	"	31
<b>2.10. "Yield line"</b> .....	"	31
<b>2.11. Connessioni eccentriche</b> .....	"	31
<b>2.12. Economia, ripetitività, semplicità</b> .....	"	32
<b>2.13. Ore uomo, peso materiale</b> .....	"	32
<b>2.14. Angoli di diffusione</b> .....	"	32
<b>2.15. Pretensionamento dei bulloni e resistenza</b> .....	"	33
<b>2.15.1. Influenza (o meno) su resistenza</b> .....	"	33
<b>2.15.2. Necessità (o meno) del pretensionamento</b> .....	"	34
<b>2.16. Trasferimento forze</b> .....	"	34
<b>2.17. Comportamento di una giunzione bullonata a taglio</b> .....	"	35
<b>2.18. Comportamento di una giunzione bullonata a trazione</b> .....	"	36

### 3. GLI STATI LIMITE PER LE PARTI

<b>COMPONENTI LA GIUNZIONE</b> .....	p.	38
<b>3.1. Capacità di deformazione (rotazione) e relativa rigidezza</b> .....	"	38
<b>3.1.1. Rigidezza rotazionale</b> .....	"	39
<b>3.2. Deformazione anelastica gioco foro-bullone</b> .....	"	40
<b>3.3. Rottura a taglio bullone</b> .....	"	41
<b>3.3.1. Filettatura all'interno della sezione di taglio</b> .....	"	42
<b>3.3.2. Numero di sezioni resistenti</b> .....	"	43
<b>3.3.3. Spessoramenti o "packing plates"</b> .....	"	44
<b>3.3.4. Giunti lunghi</b> .....	"	44
<b>3.3.5. Tirafondi</b> .....	"	45
<b>3.3.6. Coefficiente di rigidezza</b> .....	"	46
<b>3.4. Rottura a trazione bullone</b> .....	"	46
<b>3.4.1. Bulloni a testa svasata – countersunk bolts</b> .....	"	47
<b>3.4.2. Coefficiente di rigidezza</b> .....	"	47
<b>3.5. Rottura bullone con combinazione di trazione e taglio</b> .....	"	48
<b>3.6. Resistenza bulloni ad attrito</b> .....	"	48
<b>3.6.1. Taglio e trazione combinati</b> .....	"	50
<b>3.7. Rifollamento e taglio lamiera – bolt bearing e bolt tearing</b> .....	"	50
<b>3.7.1. Bulloni a testa svasata</b> .....	"	55
<b>3.7.2. Coefficiente di rigidezza</b> .....	"	55
<b>3.8. Block shear (o block tearing)</b> .....	"	56
<b>3.9. Rottura saldature</b> .....	"	58
<b>3.9.1. Calcolo saldatura</b> .....	"	61
<b>3.9.2. Saldature a tratti</b> .....	"	64
<b>3.9.3. Eccentricità</b> .....	"	65
<b>3.9.4. Gruppi di cordoni</b> .....	"	65
<b>3.10. T-stub, con e senza effetto leva</b> .....	"	66
<b>3.10.1. T-stub con effetto leva</b> .....	"	67
<b>3.10.2. Possibile approccio semplificato</b> .....	"	69
<b>3.10.4. Lunghezza limite per effetto leva e T-stub senza effetto leva</b> .....	"	70
<b>3.10.5. Calcolo T-stub per i vari "componenti" secondo Eurocodice</b> .....	"	72
<b>3.10.6. Calcolo T-stub per i vari "componenti" secondo [37]</b> .....	"	77
<b>3.10.7. T-stub per bulloni esterni all'ala in angolo</b> .....	"	82
<b>3.10.8. Coefficiente di rigidezza</b> .....	"	82
<b>3.11. Punzonamento</b> .....	"	83
<b>3.12. Sistemi equivalenti in parallelo</b> .....	"	83
<b>3.13. Taglio su anima colonna ("web panel shear")</b> .....	"	84
<b>3.13.1. Coefficiente di rigidezza</b> .....	"	85
<b>3.14. Compressione trasversale su anima</b> .....	"	85
<b>3.14.1. Parametro di trasformazione <math>\beta</math></b> .....	"	87
<b>3.14.2. Altre formule per instabilità</b> .....	"	88
<b>3.14.3. Coefficiente di rigidezza</b> .....	"	88
<b>3.15. Trazione trasversale su anima colonna</b> .....	"	89

3.15.1. Coefficiente di rigidezza .....	p.	89
3.16. Compressione su anima e ala .....	"	89
3.17. Trazione su anima trave .....	"	90
3.18. Resistenza piatti .....	"	90
3.18.1. Proprietà materiali .....	"	90
3.18.2. Trazione .....	"	91
3.18.3. Compressione .....	"	93
3.18.4. Taglio .....	"	93
3.18.5. Flessione .....	"	93
3.18.6. Combinazione sforzi .....	"	93
3.18.7. Sezione Whitmore .....	"	93
3.19. Sezione ridotta profili .....	"	95
3.19.1. Shear lag .....	"	95
3.20. Capacità locale .....	"	99
3.21. Stabilità piatti ed elementi strutturali .....	"	100
3.21.1. Instabilità per compressione .....	"	100
3.22. Integrità strutturale .....	"	104
3.23. Duttilità .....	"	105
3.24. Strappo lamellare piatti .....	"	106
3.25. Altri stati limite in collegamenti con profili sottili a freddo e lamiere .....	"	108
3.26. Fatica .....	"	108
3.27. Stati limite altri materiali collegati .....	"	109
<b>4. TIPOLOGIE ED ANALISI CON ESEMPI DI CALCOLO .....</b>	"	110
4.1. Simboli comuni .....	"	110
4.2. Giunzione bullonata eccentrica nel piano di contatto .....	"	112
4.2.1. Metodo elastico .....	"	112
4.2.2. Esempio calcolo eccentricità metodo elastico .....	"	113
4.2.3. Metodo secondo il centro di rotazione istantanea .....	"	115
4.2.4. Esempio calcolo eccentricità con centro di istantanea rotazione .....	"	116
4.3. Giunzione bullonata eccentrica perpendicolare al piano di contatto .....	"	116
4.3.1. Asse neutro nel baricentro .....	"	117
4.3.2. Esempio calcolo eccentricità fuori piano con metodo asse neutro nel baricentro .....	"	118
4.3.3. Asse neutro non nel baricentro .....	"	119
4.3.4. Esempio calcolo eccentricità fuori piano con metodo asse neutro non nel baricentro .....	"	120
4.4. Piatto di base con tirafondi gettati .....	"	120
4.4.1. Spessore piastra .....	"	121
4.4.2. Pressione di contatto .....	"	129
4.4.3. Tirafondi in trazione .....	"	133
4.4.4. Saldature .....	"	136
4.4.5. Resistenza a taglio .....	"	136

4.4.6.	Rigidità rotazionale .....	p.	138
4.4.7.	Accorgimenti per migliorare la duttilità .....	"	139
4.4.8.	Dettagli pratici e altre note .....	"	139
4.4.9.	Schematizzazione ad incastro .....	"	141
4.4.10.	Esempio calcolo piastra di base secondo Eurocodice .....	"	141
4.5.	Ancoranti chimici o meccanici .....	"	146
4.6.	Fin plate .....	"	146
4.6.1.	Scelte e possibili varianti .....	"	147
4.6.2.	Stati limite da considerare .....	"	151
4.6.3.	Capacità di rotazione .....	"	151
4.6.4.	Accorgimenti per migliorare la duttilità .....	"	152
4.6.5.	Accorgimenti per migliorare l'integrità strutturale .....	"	152
4.6.6.	Esempio calcolo trave-trave secondo Din .....	"	153
4.7.	Doppio piatto bullonato .....	"	159
4.7.1.	Capacità di rotazione .....	"	161
4.7.2.	Duttilità .....	"	161
4.7.3.	Integrità strutturale .....	"	161
4.7.4.	Esempio calcolo trave-trave secondo Eurocodice .....	"	161
4.8.	"End plate" flessibile .....	"	164
4.8.2.	Stati limite da considerare .....	"	166
4.8.3.	Rigidità rotazionale .....	"	167
4.8.4.	Duttilità .....	"	167
4.8.6.	Esempio calcolo trave-colonna secondo NTC .....	"	168
4.9.	Squadrette su anima .....	"	171
4.9.1.	Varianti .....	"	172
4.9.2.	Stati limite da considerare .....	"	173
4.9.3.	Integrità strutturale, duttilità, capacità di rotazione .....	"	173
4.9.4.	Consigli pratici .....	"	173
4.9.5.	Esempio calcolo trave-trave secondo AISC .....	"	173
4.10.	Giunzioni travature reticolari .....	"	175
4.10.1.	Abbottonature .....	"	175
4.11.	Appoggio sopra colonna .....	"	177
4.11.1.	Stati limite da considerare .....	"	178
4.12.	"End plate" rigido .....	"	179
4.12.1.	Taglio su anima colonna ("web panel shear") .....	"	180
4.12.2.	Braccio di trasmissione del momento .....	"	181
4.12.4.	Verifiche piatto saldato ad anima .....	"	183
4.12.5.	Verifiche irrigidimento colonna in zona compressa .....	"	183
4.12.6.	Verifiche irrigidimento colonna in zona tesa .....	"	184
4.12.7.	Verifiche irrigidimento diagonale per taglio .....	"	184
4.12.8.	Taglio forze verticali .....	"	185
4.12.9.	Progetto con haunch .....	"	185
4.12.10.	Progetto trave-trave .....	"	186
4.12.11.	Disposizioni BS .....	"	186

4.12.12. Approccio AISC .....	p.	186
4.12.13. Stati limite da considerare .....	"	186
4.12.14. Rigidezza rotazionale .....	"	188
4.12.15. Suggerimenti per semplificare il calcolo .....	"	189
4.12.16. Consigli pratici .....	"	190
4.12.17. Duttilità, capacità di rotazione ed integrità strutturale .....	"	190
4.12.18. Esempio di calcolo end plate trave-colonna secondo Eurocodice .....	"	190
4.13. "Splice": giunto a coprigiunto .....	"	198
4.13.1. Modello di calcolo e stati limite .....	"	200
4.13.2. Capacità di rotazione, integrità strutturale, duttilità .....	"	201
4.13.3. Esempio di calcolo splice su colonna secondo NTC .....	"	201
4.14. Giunti controventi .....	"	205
4.14.1. Metodi americani: UFM e KISS .....	"	207
4.14.2. Accorgimenti pratici .....	"	212
4.14.3. Esempio connessione controventi ad attrito secondo NTC .....	"	212
4.15. Appoggio a sedia .....	"	216
4.16. Collegamenti per arcarecci .....	"	218
4.17. Giunzioni saldate tubolari .....	"	221
4.18. Giunzioni in strutture composte miste acciaio-calcestruzzo .....	"	221
4.19. Giunti con saldature e bullonatura che lavorano in parallelo .....	"	221
4.20. Giunti per dilatazioni .....	"	222
4.21. Cerniere perfette .....	"	223
4.22. Carrelli .....	"	224
4.23. Chiodature .....	"	225
4.24. Giunti "sismici" .....	"	225
4.24.1. End plate rigido .....	"	226
4.24.2. Controventi .....	"	228
<b>5. SCELTA DELLA GIUNZIONE .....</b>	"	231
5.1. Priorità a chi produce e monta .....	"	231
5.2. Considerazioni sui pro e contro delle varie giunzioni .....	"	231
5.3. Organizzazione dell'officina .....	"	232
5.3.1. Piatti o lamiere .....	"	232
5.3.2. Concetto di "prendere in mano un pezzo" .....	"	233
5.4. Elementi culturali .....	"	233
<b>6. ACCORGIMENTI E NOTE VARIE ANCHE PRATICHE .....</b>	"	235
6.1. Standardizzazioni progettuali .....	"	235
6.1.1. Materiale .....	"	235
6.1.2. Spessori .....	"	235
6.1.3. Diametro bulloni .....	"	235
6.2. Giochi foro-bullone .....	"	236
6.2.1. Gioco foro-bullone per piastra di base .....	"	237

6.3.	Montaggio.....	p.	238
6.3.1.	Labilità struttura.....	"	238
6.3.2.	Ordine di montaggio ed ingombri.....	"	238
6.3.3.	Spaziature ed interferenze per bulloneria.....	"	239
6.3.4.	Appoggi e posizionamenti.....	"	239
6.3.5.	Fori o piatti saldati per la movimentazione.....	"	240
6.4.	Spazi di manovra chiavi.....	"	240
6.4.1.	Giunzioni con squadrette.....	"	246
6.5.	Spaziature ed interassi.....	"	247
6.6.	Sovrapposizione con raccordo.....	"	250
6.7.	Scantonature.....	"	253
6.8.	Serraggio e pretensionamento.....	"	253
6.8.1.	Chiave dinamometrica.....	"	255
6.8.2.	Giro del dado.....	"	255
6.8.3.	Indicatori di tensione.....	"	257
6.8.4.	Bulloni a controllo di tensione.....	"	257
6.8.5.	Tensionatori idraulici.....	"	258
6.9.	Rondelle.....	"	258
6.9.1.	Rondelle a lato inclinato.....	"	259
6.9.2.	Vibrazioni.....	"	259
6.10.	Dimensioni viteria, dadi e rondelle.....	"	259
6.10.1.	Altezza dado e testa della vite.....	"	260
6.10.2.	Larghezza e spessore rondelle.....	"	260
6.11.	Riutilizzo bulloni.....	"	261
6.12.	Classi di materiale bulloni.....	"	262
6.13.	Spessori di aggiustaggio.....	"	262
6.14.	Zincatura.....	"	263
6.14.1.	Tubolari.....	"	263
6.14.2.	Piatti saldati come rinforzo su profili.....	"	264
6.14.3.	Piastre di base.....	"	266
6.15.	Altri trattamenti successivi alla fabbricazione.....	"	266
6.16.	Controfreccie.....	"	267
6.17.	Malta nei piatti di base.....	"	267
6.18.	Rappresentazione grafica giunzioni e bulloni.....	"	269
6.19.	Saldature in opera.....	"	269
6.20.	Giunti speciali (inclinati).....	"	269
7.	<b>ESEMPI DI POSSIBILI REALIZZAZIONI</b> .....	"	276
8.	<b>INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO</b> .....	"	335
8.1.	Introduzione.....	"	335
8.2.	Requisiti minimi hardware e software.....	"	335
8.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	335
8.4.	Installazione e attivazione del software.....	"	336

## CONCETTI FONDAMENTALI PER IL PROGETTO DELLA STRUTTURA RELATIVAMENTE ALLE GIUNZIONI

In relazione alle giunzioni, il primo concetto fondamentale che l'Ingegnere deve avere chiaro quando inizia il calcolo è quali delle sue connessioni tra elementi strutturali dovranno essere in grado di sviluppare un momento resistente e quali invece sarà possibile eseguire come semplici cerniere. Per poter decidere questo è necessario chiarire il sistema laterale resistente.

### 1.1. Cerniere e giunzioni in grado di resistere un momento

#### 1.1.1. *Sicurezza, performance, costi*

Le strutture in acciaio devono essenzialmente essere sicure, performanti ed economiche.

Sicure perché fungono da tettoie, soppalchi, palazzi, grattacieli, ponti e tanto altro ancora che ripara, accoglie, serve e protegge l'uomo, quindi un collasso strutturale potrebbe con forte probabilità uccidere vite umane.

Le strutture devono pure essere adatte a svolgere con buona performance l'attività per cui sono state progettate e a sopportare nel tempo i carichi di servizio senza problemi per l'occupabilità. Questi sono i concetti tipici dell'analisi secondo gli stati limite di servizio, che si occupa appunto di verificare, a titolo non limitativo di esempio, che le deformazioni possano evitare il danneggiamento di strutture secondarie oppure che eccessive vibrazioni rendano non confortevole l'abitabilità.

Una cattiva performance danneggerebbe inoltre il valore immobiliare della committenza che ne ha ordinato l'esecuzione.

Allo stesso tempo, per ovvie ragioni di mercato, la struttura deve essere economica e competitiva rispetto alle alternative in altri materiali o di progetto o di concorrenza. L'economicità è un discorso complesso che dipende da tanti fattori ma è compito dell'ingegnere cercare per quel che lo riguarda di rendere la struttura economica nei limiti imposti dalla sicurezza e lo scopo di impiego. L'ingegnere dovrebbe infatti rendere un servizio alla sua clientela anche in termini di costo pur non impattando in questo modo le normative e la funzionalità. Per l'economicità della struttura l'ideazione della giunzioni bullonate riveste un punto molto importante che come cercheremo di illustrare deve essere chiaro al progettista sin dalle prime battute.

#### 1.1.2. *Sistema laterale resistente*

La scelta iniziale delle giunzioni non può prescindere dalla scelta del sistema laterale resistente. Si analizzi questo punto chiave più in dettaglio: l'ipotesi di partenza è che all'ingegnere siano già chiari la geometria della struttura, che sia già stato deciso di farla in acciaio, che siano già definiti seppur sommariamente i carichi di progetto. L'ingegnere potrebbe cioè, per le ipotesi

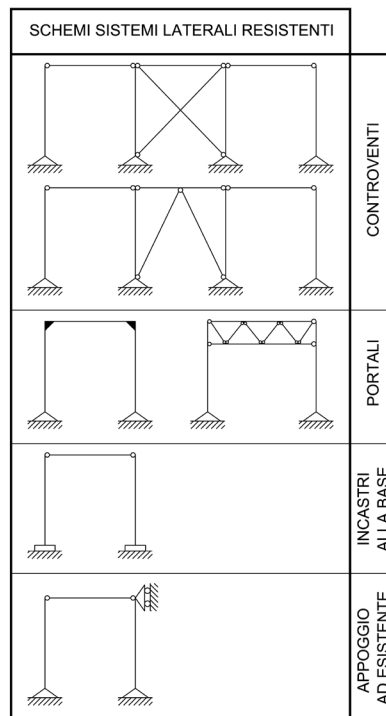


prese, mettersi al computer e costruire il modello di analisi della struttura con il suo programma di analisi ad elementi finiti. Prima però di tracciare il proprio modello wireframe, l'ingegnere dovrebbe scegliere ed avere chiaro il sistema laterale resistente. Dalla scelta di questo dipende infatti l'economicità e l'imposizione o meno di vincoli architettonici.

I sistemi laterali resistenti possono essere diversi, più o meno combinati. Bisogna inoltre considerare che ogni direzione orizzontale può avere sistemi diversi.

I sistemi laterali resistenti "base" sono:

- controventi;
- portali;
- incastrati alla base (colonne a mensola);
- appoggio ad esistente o struttura ad hoc in altro materiale (scala in c.a., pareti in muratura o altro, ecc.).



**Figura 1.1.** Sistemi resistenti laterali

L'ingegnere strutturale che lavora per la carpenteria vorrebbe di solito usare un sistema di controvento perché questo permette la massima economicità. I vantaggi dei controventi sono infatti:

- la struttura è facilmente dimensionata contro le forze orizzontali (solitamente vento e sisma) permettendo un dimensionamento di travi e soprattutto colonne molto economico (i controventi si occupano essenzialmente della resistenza laterale e la colonna può lavorare a sola compressione, a grandi linee);

- le giunzioni possono essere, genericamente, a semplice taglio o azione assiale, cioè economiche e snelle;
- il controllo delle deformazioni laterali della struttura è eccellente;
- buona risposta sismica (con opportuni accorgimenti).

Allo stesso tempo il controvento ha svantaggi che lo possono rendere indesiderato alla committenza od alla parte architettonica:

- ostruisce il passaggio laterale o comunque possibili finestre o aperture;
- può non piacere all'architetto o alla committenza per ragioni estetiche.

Il secondo problema può essere talvolta risolto “esaltando” il controvento e dandogli una precisa valenza architettonica. Ne sono esempi alcuni famosi grattacieli (figura 1.2) ma anche costruzioni più “ordinarie” (figura 1.3) in cui l'architetto ha saputo e voluto creare un'interessante antitesi di materiali e dare risalto ai controventi.

Il punto dell'ostruzione del passaggio viene invece solitamente by-passato scegliendo una campata che si adibisce a zona controventi, se possibile. Questo può solitamente essere fatto alle estremità del sistema strutturale e poi con controventi di falda si riportano le forze a questi (non viene qui approfondito l'uso dei controventi di falda, ma una delle sue funzioni fondamentali, oltre a quella di limitare la lunghezza di libera inflessione di travi inflesse per migliorare la resistenza flessio-torsionale è appunto il collegare campate con schema pendolare ad altre controventate).

Un altro metodo per limitare l'impedimento fisico dei controventi è adattarne la geometria ai vincoli architettonici, utilizzando forme diverse (si vedano immagini ad esempio ma è facile trovare tanti altri casi pratici).



**Figura 1.2.** Controventi valorizzati come motivo estetico nella John Hancock Tower di Chicago (da Wikipedia, foto di “Akadavid”, 2008)



**Figura 1.3.** Esempio di edificio con controventi valorizzati architettonicamente anche sull'interno (Interpuls, Reggio Emilia)

Detto quindi della bontà della soluzione controventata per le strutture in acciaio e dello sforzo di informazione/riciesta/sensibilizzazione necessario da parte del progettista alla committenza o direzioni lavori per farsi approvare tale soluzione, bisogna concludere che tante volte non si può assumere la controventatura come schema in entrambe le direzioni. È quindi necessario ricorrere a portali o ad incastri alla base (o ad una loro combinazione) se non addirittura all'intervento di ulteriori sistemi (per i quali si esce dal fine di questa trattazione, cioè pareti a taglio in lamiera o altro, sistemi misti di vario genere).

In particolare il vantaggio principale di entrambe le soluzioni diventa quello per cui non era possibile utilizzare i controventi, cioè un'assenza di impedimenti allo sfruttamento delle luci. Inoltre, per il portale (sottolineiamo come un sistema colonne più capriata sia un caso particolare di portale) si hanno come potenziali vantaggi:

- possibile economia (ai danni della colonna) sulla profondità delle travi in quanto la giunzione a momento può permetterne un migliore sfruttamento delle travi;
- aspetto più rassicurante delle colonne che, essendo di taglia maggiore, all'occhio possono risultare più confortanti;
- cerniere alla base, quindi risparmio sulle fondazioni (ancora maggiori rispetto ai controventi in quanto questi ultimi potrebbero "alzare" la struttura e richiedere una dimensione di zavorra di alcuni plinti);
- discreta risposta sismica (con opportuni accorgimenti).

Svantaggi per il portale possono invece essere:

- giunzioni in acciaio complesse quindi costose;
- possibile ingombro ulteriore nella zona d'attacco colonna-trave (una giunzione a momento può ridurre l'altezza utile, per cui può diventare necessario sopraelevare l'intera realizzazione); lo stesso ingombro di un sistema a capriata è evidentemente maggiore;

- in media un peggioramento del peso a metro quadro della struttura in acciaio;
- spostamenti laterali da controllare attentamente;
- lunghezza di libera inflessione delle colonne.

Per il sistema laterale resistente con colonna incastrata alla base (mensola) si notano invece come vantaggi:

- luci libere;
- colonne più rassicuranti.

I contro di un sistema con incastro alla base possono essere invece riassunti come:

- sistema di fondazione impegnativo e costoso: grossi plinti, eventuali palificazioni;
- spostamenti laterali da verificare (anche se migliori del sistema a portale puro in media);
- necessario maggior utilizzo di materiale;
- lunghezza di libera inflessione delle colonne;
- cattiva performance sismica (le normative americane per esempio ne vietano tout court l'utilizzo per edifici di almeno "media" importanza in zone altamente sismiche).

Tante volte quindi per sopperire al problema delle deformazioni e migliorare la snellezza delle colonne si adottano entrambi i sistemi portale-incastro alla base in combinazione.










VALORE "K"	CASI	TIPI DI VINCOLO	SISTEMI CONTROVENTATI O EQUIVALENTI (k≤1)
Intervallo consigliato 0.50 - 0.70		 Rotazioni e traslazioni impedito  Rotazioni e traslazioni impedito	
Intervallo consigliato 0.70 - 0.80		 Rotazioni libere e traslazioni impedito  Rotazioni e traslazioni impedito	
Valore consigliato 1.00		 Rotazioni libere e traslazioni impedito  Rotazioni libere e traslazioni impedito	

Figura 1.4. Coefficiente per snellezza in sistemi controventati

## CONCETTI FONDAMENTALI PER L'ANALISI DELLE GIUNZIONI

L'obiettivo di questa trattazione ed in particolare di questo capitolo è una comprensione dei meccanismi che governano le giunzioni e non una serie di complicate espressioni di calcolo.

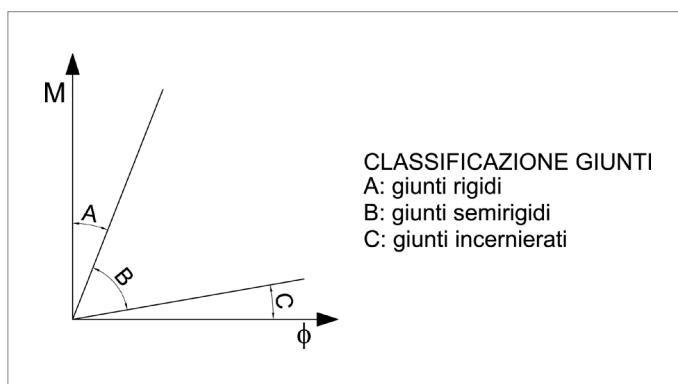
Si cercherà allora di soffermarsi non sulle formule, che saranno esplicitate nei capitoli 3 e 4, ma semplicemente sui concetti e sulle idee, non sempre intuitivi e chiari a chi si avvicina inizialmente alle giunzioni delle strutture in acciaio.

Questo capitolo rappresenta quindi una raccolta “non ordinata” di concetti per cui ogni paragrafo non rappresenta la continuazione del precedente ma, al contrario, una idea distinta.

### 2.1. Divisione giunzioni

Esistono diverse possibili “divisioni” tipologiche delle giunzioni che è bene vedere in veloce carrellata.

Una prima divisione è sulla rigidezza rotazionale e sulla conseguente capacità di trasmettere un momento flettente. In questo senso le giunzioni si possono dividere in: cerniere, incastri, giunti semi rigidi (con comportamento intermedio) come da figura 2.1.



**Figura 2.1.** Il diagramma momento-rotazione di una giunzione ne individua il comportamento

Se invece si vuole fare una distinzione sulla resistenza (e questo di solito rientra nei metodi di analisi plastica), la giunzione può essere a “parziale” ripristino di resistenza (cioè resiste i momenti di calcolo ma non l'intera forza che le membrature connesse potrebbero trasmetterle) ovvero a completo ripristino se sopporta un momento pari o superiore ai profili collegati (eventualmente amplificato per esempio per situazioni di progettazione sismica per tenere in conto

che il materiale delle membrature ha statisticamente valori superiori ai minimi normativi per cui potrebbe trasmettere carichi maggiori a quelli nominali).

Una ulteriore possibile divisione importante in chiave sismica ma non solo è quella relativa alla duttilità, per la quale è opportuno analizzare e verificare i singoli stati limite della giunzione per asserirne la duttilità o fragilità. Una misura della duttilità da un punto di vista sperimentale è la capacità di deformazione (rotazione di solito) di un giunto prima del collasso.

Esistono inoltre svariate possibili ulteriori divisioni quali giunzioni bullonate o saldate, giunzioni in base ai tipi di membrature collegate (trave-colonna, trave-trave, di base, etc.) e altre.

Interessante è anche la tabella 2.1 presa da [10].

**Tabella 2.1.** *Classificazione giunti, rielaborazione da Eurocodice*

Metodo di analisi	Classificazione giunti		
<i>Elastico</i>	A cerniera	Rigido	Semi-rigido
<i>Rigido-Plastico</i>	A cerniera	A completo ripristino	Ripristino parziale
<i>Elasto-Plastico</i>	A cerniera	Rigido e a completo ripristino	Semi-rigido e ripristino parziale Semi-rigido e completo ripristino Rigido e ripristino parziale
<i>Modellazione giunto</i>	Semplice	Continuo	Semi-continuo

## 2.2. Schema di calcolo ed azioni

Solitamente l'ingegnere prende le proprie azioni di calcolo dal modello FEA (o FEM che dir si voglia) e le trasferisce alla giunzione. In realtà vi sono alcune considerazioni importanti al riguardo che, in base allo schema di calcolo assunto, comportano una "modifica" alle azioni di calcolo.

Il modello di calcolo FEM rappresenta di default le cerniere applicate nell'asse delle membrature. In molti software commerciali è tuttavia possibile spostare la cerniera nel luogo di effettiva posizione, che di solito non coincide appunto con l'asse. Tale intervento può essere lungo e laborioso e perciò non viene sempre eseguito; è inoltre non indispensabile perché si può anche assumere la cerniera "leggermente" spostata dal modello di calcolo se opportunamente si tiene conto di come vengono modificate le reazioni vincolari.

Per tante giunzioni è infatti possibile rappresentare la cerniera in diverse posizioni, tra loro poco scostate ma che possono rappresentare una differenza sostanziale per il dimensionamento di bulloni, piatti, saldature e delle stesse colonne e travi in quanto vengono aggiunti momenti locali dati dallo spostamento dell'elemento analizzato dalla posizione considerata per la cerniera.

Se si prende per esempio il caso di un end plate flessibile (quindi con funzioni di cerniera) sull'ala di una colonna, la posizione dell'asse della giunzione può essere considerata essenzialmente:

- 1) nell'asse della colonna;
- 2) nel punto di contatto tra ala colonna ed end plate.

Le implicazioni dell'assunzione sono notevoli: nel secondo caso la colonna ha infatti un ulteriore momento dato dall'eccentricità della giunzione mentre nel primo caso un ulteriore momento tutt'altro che trascurabile va ad incidere su bulloni e piatto, impegnati da uno sforzo

flessionale. Sempre nel caso secondo, per congruità, si potrebbe calcolare la trave su una luce leggermente inferiore di quella della distanza tra gli assi delle colonne (cioè distanza assi sottratto la profondità della sezione della colonna).

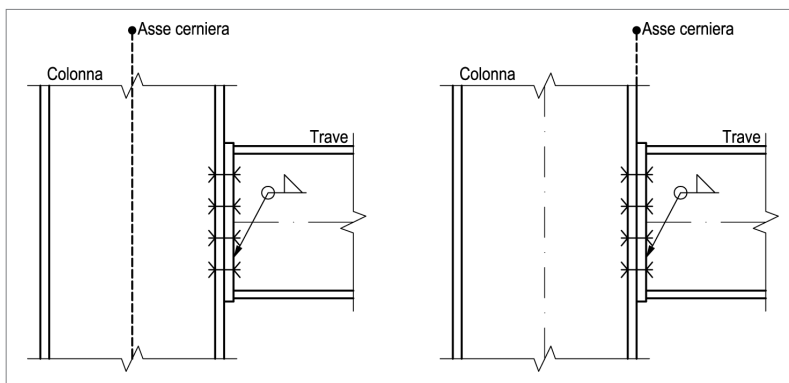


Figura 2.2. Possibili posizioni asse giunzione

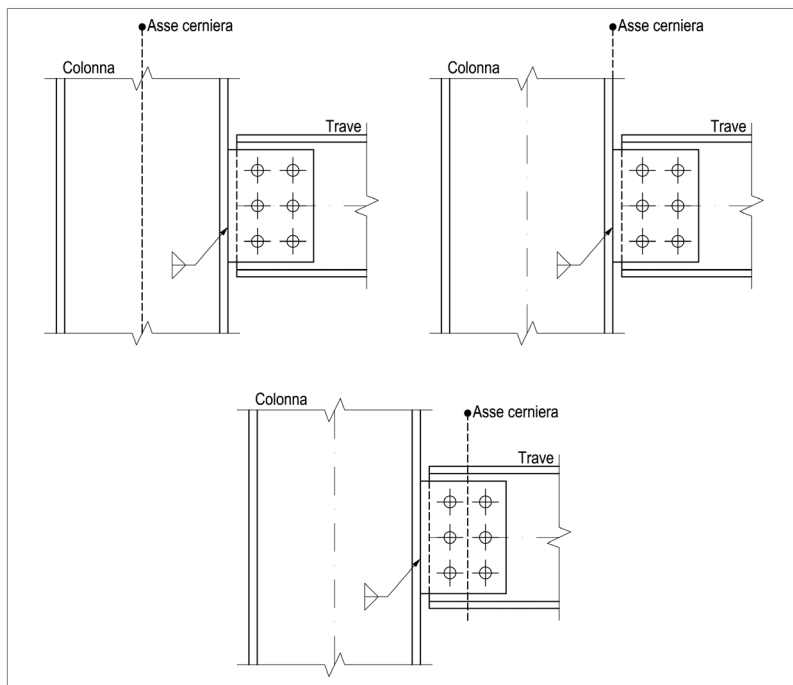
Questo concetto è valido per qualsiasi giunzione e deve essere attentamente valutato in ogni occasione dall'ingegnere: in alcuni casi gli scostamenti delle diverse assunzioni diventano trascurabili ma in molte situazioni la differenza è significativa.

Si osservi che i 2 casi citati nell'esempio sono solo quelli a cui di solito ci si riferisce perché uno minimizza l'eccentricità sulla colonna (uguale a zero) mentre l'altro minimizza gli sforzi sui bulloni ma in realtà i casi sono infiniti e sono tutti accettabili nel momento in cui si rispetta la congruenza e la giunzione ha abbastanza duttilità da evolvere in campo plastico.

In altri casi le possibili configurazioni "base" diventano più di due. Si pensi infatti al caso di una trave collegata alla colonna con squadrette a doppia bullonatura sull'ala della colonna (vedi figura 2.3.).

Qui le possibili schematizzazioni sono, oltre a quanto già visto nel caso di end plate su ala colonna, anche l'asse sulla bullonatura. Un altro caso esemplificativo è quello di giunzione bullonata trave-colonna-controventi (si vedano le considerazioni nel paragrafo 4.14. "Giunti controventi" del capitolo 4). In particolare negli USA infatti si utilizzano diversi metodi, tutti egualmente validi ed utilizzabili (soddisfacendo i vari stati limite) che portano alcuni a minimizzare bulloni ("Uniform Force Method"), altri le saldature ("L weld method"), altri semplicemente a dimensionare il tutto conservativamente ("Kiss method").

È a questo punto importante sottolineare che ogni situazione è equilibrata e l'ingegnere può scegliere quella che gli permette di ridurre le sollecitazioni sull'elemento "preferito". Si può ad esempio minimizzare la sollecitazione sulla colonna a scapito di bullonature, trave e saldature, oppure fare l'inverso, a seconda di cosa si intende privilegiare. Esempio: se tutta la struttura ha bulloni M20 e prendendo l'asse sulla colonna significa dover utilizzare in questa giunzione bulloni M22, è forse preferibile considerare l'asse sulla bullonatura e verificare la colonna per l'ulteriore momento dato all'eccentricità. La scelta è comunque dell'ingegnere, ma, ancora una volta, il sistema deve essere equilibrato, cioè non si può spostare a piacimento l'asse della giunzione senza verificare cosa questo comporti per i vari componenti.



**Figura 2.3.** Possibili posizioni asse giunzione

In assenza di elementi che spingano con decisione in una certa direzione, il buon senso del professionista potrebbe preferibilmente far coincidere la posizione dell'asse della giunzione con quella che l'intuito suggerisce, cioè ove si pensa che la capacità di rotazione sia maggiore, in modo che il tragitto delle forze considerato sia quello probabilmente più vicino alla effettiva trasmissione delle forze.

Ciò non è tuttavia l'unica via, ma una delle possibili. Quella che più si avvicina alla “reale” distribuzione delle forze è quella che massimizza il carico esterno, cioè quella che riesce a sopportare più carico.

A tal proposito è interessante l'esempio di [27]: assumendo un peso sostenuto da 3 barre d'acciaio, l'intuito ci dice che esso si distribuisce uniformemente. In realtà, assumendo per esempio che la centrale non prenda carico, una soluzione possibile di dimensionamento è quella di dividere il carico tra le altre 2, il che ci porta comunque ad una configurazione equilibrata ed accettabile. Anche prendendo per la centrale diverse percentuali di assorbimento del carico si ottengono dimensionamenti accettabili (grazie alla duttilità dell'acciaio). È però vero che la situazione che ci permette di “massimizzare” il carico esterno è quella in cui le barre assorbono tutte la stessa percentuale ed infatti questa soluzione è quella più vicina alla “reale”, ma appunto non l'unica.

Si vedrà più nei particolari anche successivamente, giunzione per giunzione, come all'ingegnere sia quindi data la facoltà di scegliere tra differenti possibilità che permettono di minimizzare gli sforzi sull'elemento voluto a prezzo di verificarne le maggiorazioni sugli adiacenti e nel rispetto del concetto fondamentale che l'equilibrio complessivo deve essere mantenuto (e le rotture fragili scongiurate).



### 2.3. Sforzi proporzionali a rigidezza

Gli sforzi si distribuiscono proporzionalmente alla rigidezza.

Questo vale sia a livello globale di sistema strutturale che localmente nelle giunzioni. Il concetto base è quello delle molle in parallelo con rigidezza diversa, che si dividono la forza appunto in base alla rigidezza delle molle stesse. A livello strutturale altri parametri entrano ovviamente in gioco ma il concetto di rigidezza è un aspetto fondamentale da tenere in considerazione.

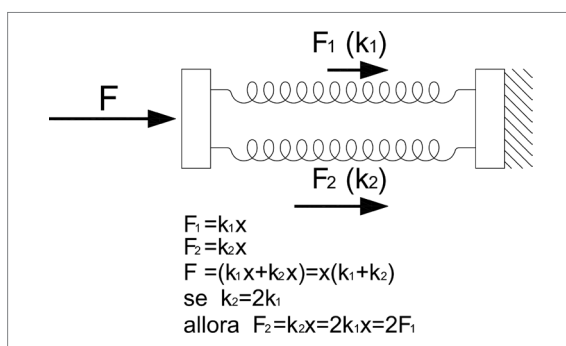


Figura 2.4. Sollecitazioni su molle proporzionali alla rispettiva rigidezza

Questo concetto aiuta a risolvere problemi di giunzioni particolari e a capire la risposta di sistemi complessi. Diciamo che le forze “inseguono” la rigidezza.

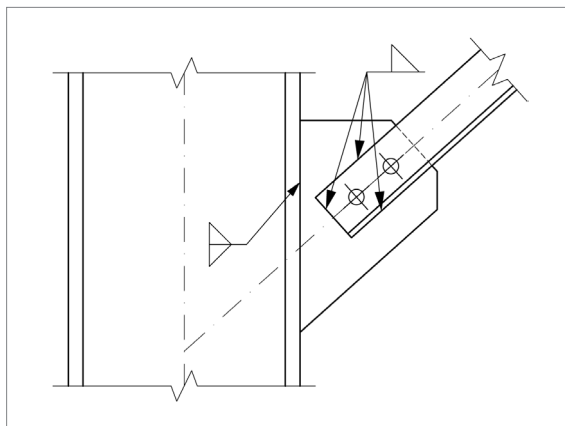


Figura 2.5

Un esempio può essere una giunzione sollecitata a taglio tra due piastre realizzata sia con bulloni a taglio che saldando tra loro le piastre (figura 2.5). Pensare di scomporre la resistenza alla forza tra saldatura e bulloni sarebbe un errore in quanto la saldatura ha una rigidezza ben superiore ai bulloni (non dimensionati ad attrito), per cui la sola saldatura si opporrebbe allo sforzo. In caso di rottura (non duttile) della saldatura, sarebbero poi solo i bulloni ad intervenire ed, anche in questo caso, prendendo il carico completo. Ne consegue che una giunzione pensata

## GLI STATI LIMITE PER LE PARTI COMPONENTI LA GIUNZIONE

È parte fondamentale del progetto di una struttura in acciaio la verifica dei singoli stati limite delle giunzioni, o, meglio, la verifica degli stati limite delle varie parti che compongono le giunzioni: bulloni, saldature, piatti, parti di profili (eventualmente modificati per facilitare il giunto).

Le giunzioni si devono infatti ritenere formate, per usare una terminologia da Eurocodice, da tante singole “componenti”, ognuna delle quali necessita di una o più controlli nei confronti di deformazione, resistenza, stabilità e quant’altro ancora necessario per assicurare durata, performance e sicurezza al complesso strutturale.

### 3.1. Capacità di deformazione (rotazione) e relativa rigidità

Le normative più recenti definiscono dei limiti per la divisione delle giunzioni tra cerniere ed incastri e forniscono indicazioni per gestire i giunti semi-rigidi.

Inoltre vengono fornite alcune linee guida per la verifica della capacità di rotazione, il cui controllo diviene importante in particolare per una progettazione di tipo plastico (si veda direttamente [10]).

Tali metodologie (in realtà definite solo per alcuni tipi di giunzione e con limitazioni di applicazione non trascurabili) sono però di attuazione pratica abbastanza laboriosa per cui una tale implementazione non è ancora uno standard di pratica nell’industria; solitamente si utilizza ancora la più rapida (e si può affermare che anni di pratica hanno anche dimostrato sicura) e quindi più economica e semplice divisione tra cerniere e incastri come illustrato in molte parti di questo testo (che vuole appunto essere “concreto” e raccontare la pratica utilizzata negli studi di progettazione).

Rimane comunque necessario da parte dell’ingegnere cercare di verificare che la giunzione abbia una capacità di deformazione tale da rendere le assunzioni fatte reali.

Per le giunzioni classiche descritte nel presente libro, le indicazioni fornite nel testo, giunzione per giunzione, associate ad una deformazione delle travi ed elementi strutturali nei limiti normativi (il che dovrebbe essere la regola) forniscono di solito le condizioni necessarie e sufficienti per la verifica della deformazione delle giunzioni.

Per casi diversi e non standard, la valutazione ingegneristica su questo aspetto andrà ponderato caso per caso, eventualmente con strumenti più sofisticati.

Vista la richiesta normativa in atto è comunque consigliabile approcciarsi maggiormente ad una verifica di tipo analitico della rigidità rotazionale, come da paragrafo seguente.

La rigidità delle connessioni è infatti un parametro importante non solo per il giunto in se stesso ma per poter valutare l’incidenza delle giunzioni sull’analisi globale della struttura (spostamenti e sforzi cambiano in funzione della rigidità delle giunzioni).

### 3.1.1. Rigidezza rotazionale

L'Eurocodice fornisce indicazioni per alcune tipologie di giunzione ma l'attuazione è laboriosa nonché limitata da ipotesi non sempre verificabili.

La formula generale da [10] si basa ad esempio sull'assunzione che l'azione assiale di progetto  $N_{Ed}$  sia inferiore al 5% della capacità plastica della membratura connessa; la formula è inoltre valida solo per collegamenti di sezioni ad  $H$  e  $I$  ([10] non fornisce alcuna indicazione per giunzioni tra altri tipi di profili). La verifica di queste condizioni permette di applicare la formula:

$$S_j = \frac{Ez^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}}$$

$S_j$  rappresenta la rigidezza rotazionale del giunto, composta dai vari contributi dei componenti  $i$ , ognuno dei quali ha una rigidezza  $k_i$ .  $z$  rappresenta invece il "braccio di leva" (che varierà a seconda delle giunzioni e maggiori indicazioni saranno fornite nel capitolo 4).

Per il coefficiente  $\mu$ , si considera il valore  $l$  se  $M_{j,Ed} \leq 0.66 M_{j,Rd}$ , altrimenti si applica:

$$\mu = \left( \frac{1.5 M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi$$

dove  $\psi$  è 3.1 nel caso di angolari bullonati su ali ("bolted flange cleats") e 2.7 in tutti gli altri casi (giunzione saldata, piatto di base, end-plate bullonato).

È importante ricordare che  $S_{j,ini}$  (cioè la rigidezza iniziale del giunto) è calcolata come  $S_j$  sopra considerando  $\mu = 1$ .

Per inserire il valore di  $S_j$  nel modello di analisi globale, si vedano le indicazioni di [10]. Per un'analisi elastica il valore può essere preso in via semplificativa come  $S_{j,ini}/\eta$  con  $\eta$  come da tabella sotto.

**Tabella 3.1.** Coefficiente di riduzione  $\eta$  della rigidezza secondo Eurocodice

Tipo di giunzione	Giunti trave-colonna	Altri giunti (trave-trave, splice, piastra di base)
Saldata	2	3
End plate bullonato	2	3
Squadrette bullonate all'ala	2	3.5
Piatti di base	–	3

Per la classificazione di un giunto come cerniera, incastro o semirigido secondo EC bisogna confrontare  $S_{j,ini}$  con il valore di:

$$k \frac{EI_b}{L_b}$$

$I$  rappresenta il momento d'inerzia (della trave con pedice  $b$ ), come nella formula riportata, o della colonna con pedice  $c$ ) ed  $L$  la lunghezza (più precisamente l'altezza dell'interpiano per la colonna e la distanza asse-asse tra colonne per la trave). Il coefficiente  $k$  si prende come 0.5 per definire il limite massimo di rigidità per un giunto che si voglia classificare come cerniera. Quindi, se:

$$S_{j,ini} \leq 0.5 \frac{EI_b}{L_b}$$

la connessione è da considerarsi come una cerniera. Il limite inferiore per la schematizzazione ad incastro è invece calcolato a seconda che la struttura abbia o meno un sistema di controventi tali da ridurre dell'80% gli spostamenti orizzontali. Nel caso vi sia tale controventamento,  $k$  ( $k_b$  nella simbologia EC) si può prendere come 8. Se invece il sistema laterale non ha l'efficienza richiesta, bisogna valutare il rapporto:

$$\frac{I_b / L_b}{I_c / L_c}$$

Se il rapporto è inferiore 0.1, il giunto è da considerare semirigido. In caso invece il rapporto sia maggiore od uguale a 0.1, viene assunto  $k = 25$  ed i giunti assimilabili completamente ad un incastro saranno quelli con  $S_{j,ini}$  maggiore del valore così calcolato.

Contributi per chi volesse approfondire l'argomento si trovano anche su diversi testi, tra i quali [18] e [19] e [21].

### 3.2. Deformazione anelastica gioco foro-bullone

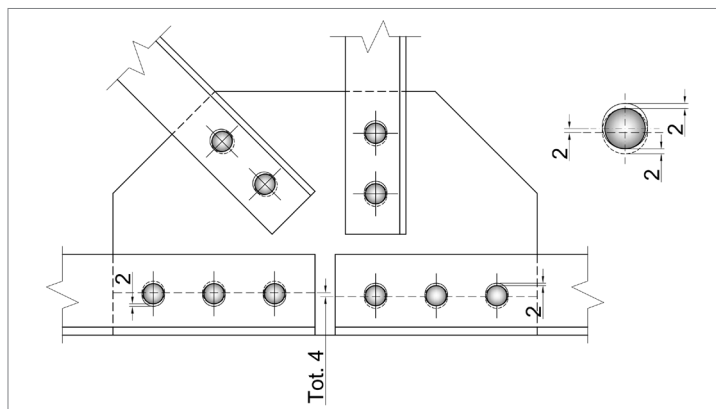
Oltre a quanto visto al paragrafo precedente, un possibile effetto del design delle giunzioni sulle deformazioni della struttura è dato da eventuali giochi foro-bullone che, sommandosi, possono portare a frecce anelastiche indesiderate.

L'esempio tipico è quello di una capriata interamente bullonata (cioè con anche i correnti composti da tanti pezzi bullonati) nella quale il sommarsi delle tolleranze dei fori rispetto ai bulloni potrebbe portare ad una freccia permanente iniziale già superiore al limite di riferimento.

Questa freccia è anelastica in quanto non viene recuperata elasticamente nel momento in cui l'elemento strutturale è scarico. Infatti la freccia compare, senza accorgimenti opportuni, al momento del serraggio dei bulloni per la posizione naturale assunta dalle membrature causa peso proprio. Anche se si dovesse stare attenti al serraggio con il solo peso proprio (per esempio imbullonando a terra in posizione orizzontale per poi sollevare l'intera capriata al montaggio), sollecitazioni in opera che vanno oltre il limite di attrito potrebbero riproporre il problema.

Una capriata lunga 10 m con 10 diagonali e 10 montanti ed i correnti anche divisi in 10 parti, con giochi foro bullone di 2 mm, può verosimilmente sommare 3-4 mm di freccia anelastica per connessione (si veda figura 3.1 e si noti come si può arrivare a 4 mm di distanza asse-asse tra corrente di destra e sinistra), quindi  $10 * 4 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$ , cioè 1/250 della luce a priori.

Una possibile soluzione applicativa è prevedere nella stesura degli esecutivi questa deformazione e programmare la dovuta contofreccia già nei disegni d'officina. Un'altra, come accennato sopra, prevede opportuni premontaggi ed un controllo delle forze agli stati limite di servizio.



**Figura 3.1.** Possibile freccia “permanente” massima: si somma dall’asse del foro 1 mm per piatto collegato, cioè 1+1 mm nel corrente di sinistra e altrettanti a destra

### 3.3. Rottura a taglio bullone

Uno delle condizioni limite più intuitive è quello di rottura a taglio del bullone.

Si sottolinea che la rottura a taglio del bullone è uno stato limite fragile, per cui non è auspicabile che controlli il design (cioè che sia il primo stato limite critico per la giunzione).

Si veda quanto riportato a proposito della verifica di solo taglio nel paragrafo “Resistenza dei bulloni” del capitolo 2, che introduce la tabella sotto.

**Tabella 3.2.** Valori per classe di bulloni – Eurocodice 3

Classe	$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\alpha_v$	$\gamma_{M2}^*$
4.6	240	400	0.6	1.25
4.8	320	400	0.5	1.25
5.6	300	500	0.6	1.25
5.8	400	500	0.5	1.25
6.8	480	600	0.5	1.25
8.8	640	800	0.6	1.25
10.9	900	1000	0.5	1.25

\* Valore standard ma che può variare da Stato a Stato

**Tabella 3.3.** Valori di riferimento per classe di bulloni – DIN 18 800

Classe	$f_{y,b,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{u,b,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\alpha_a$	$\gamma_M$
4.6	240	400	0.6	1.1
5.6	300	500	0.6	1.1
8.8	640	800	0.6	1.1
10.9	900	1000	0.55	1.1

**Tabella 3.4.** Valori di riferimento per classe di bulloni – AISC (rivisitata per bulloni tipo X)

Classe	$F_{nv}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_{nv}/F_u$	$\Phi$
A325	465	827	0.563 ( $\approx 0.625 \cdot 0.9$ )	0.75
A490	585	1040	0.563 ( $\approx 0.625 \cdot 0.9$ )	0.75

Il rapporto tra resistenza a taglio e resistenza ultima per i bulloni Americani è stato definito come 0.625 ([24]) ma viene ridotto moltiplicandolo per 0.9 (fino alla versione “13th” era 0.8) per tener conto della distribuzione non uniforme della forza (le prime file di bulloni in entrambi i sensi sono più sollecitate): si veda al proposito il sottoparagrafo “Giunti lunghi”.

Secondo Eurocodice e NTC italiane la resistenza di progetto di un bullone (per ogni sezione di taglio) è:

$$\frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

dove  $A$  è l’area di riferimento (vedi paragrafo 3.3.1. “Filettatura all’interno della sezione di taglio”) e  $\alpha_v$  il coefficiente in tabella che, se la filettatura non è nel piano di taglio, diventa 0.6 indipendentemente dalla classe.

Per le Din si ha la molto simile ( $f_{u,b,k}$  corrisponde a  $f_{ub}$ ):

$$\frac{\alpha_a f_{u,b,k} A}{\gamma_M}$$

Per le AISC americane il termine della resistenza nominale  $R_n$  (poi da moltiplicare per  $\Phi$ ) per filettatura non nella sezione di taglio (bulloni tipo “X” negli USA, dove X significa “eXcluded”) è:

$$F_{nv} A_b$$

dove  $A_b$  è l’area nominale del bullone e il termine  $F_{nv}$  visto in tabella è la sollecitazione massima a taglio sopportabile per il materiale di riferimento. Se la zona filettata è nella sezione di taglio (bulloni tipo “N” per gli americani, dove N sta per “iNcluded”), il valore va diviso per 1.25.

Se il concetto è di rottura a taglio del bullone è intuitivo e chiaro, è meno intuitivo e quindi opportuno sottolineare due importanti concetti sopra accennati alla base del meccanismo di rottura, cioè l’importanza della presenza o meno del filetto in corrispondenza della sezione di taglio ed il numero di sezioni resistenti.

### 3.3.1. Filettatura all’interno della sezione di taglio

La presenza della filettatura in corrispondenza della sezione di taglio significa che l’area resistente netta va considerata nella verifica a taglio. Se il bullone è invece a gambo parzialmente filettato e la filettatura termina prima della sezione di taglio (una parte di letteratura arriva più conservativamente ad indicare in corrispondenza della rondella il punto dove dovrebbe terminare ottimamente la filettatura), si può considerare l’intera area di gambo, con un incremento notevole di parte resistente (un più 20-35% circa a seconda del diametro, si veda tabella 3.5). Le AISC come visto sopra considerano invece una riduzione standard dividendo l’area nominale per 1.25 quando la filettatura passa per la sezione di taglio.

### › 6.18. Rappresentazione grafica giunzioni e bulloni

Uno standard anglosassone ora seguito anche in altri paesi è quello di rappresentare le giunzioni che devono trasmettere momento con un triangolo nello schema unifilare dei profili (cioè in uno schema con i profili indicati sull'asse con una singola linea).

Può inoltre essere comodo rappresentare nei disegni di montaggio o altro i bulloni con un simbolo come quello in figura 6.26 (esistono però variazioni sul tema, per cui è bene aggiungere una legenda della rappresentazione).

SIMBOLOGIA FORATURE E RELATIVI BULLONI										
Simbolo										
Bullone	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30

Figura 6.26. Possibile simbologia forature e relativi bulloni

### › 6.19. Saldature in opera

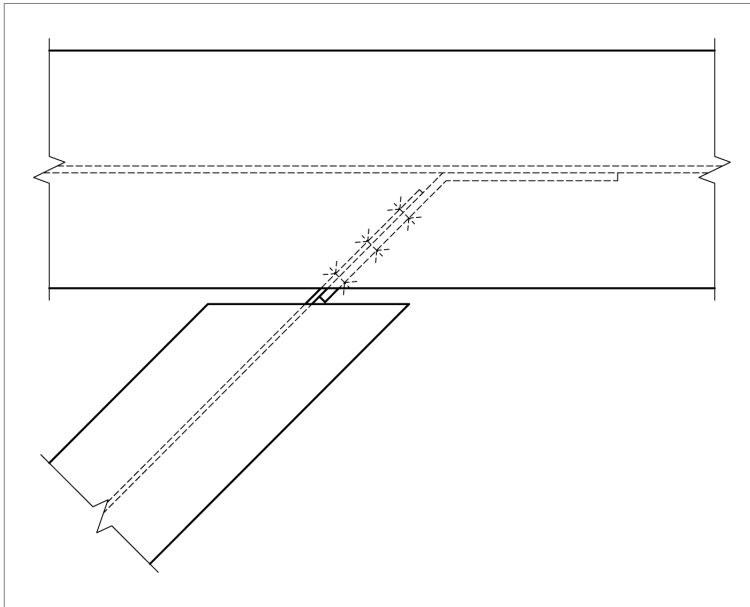
Se in ambito soprattutto italiano le saldature in opera sono mal-viste e vengono evitate in modo deciso, fanno invece maggiormente parte della pratica per esempio in ambito americano e sono utilizzate anche per raggiungere determinate performance sismiche (con particolari accorgimenti, si veda il relativo paragrafo).

È innegabile comunque che la saldature in opera abbia diverse difficoltà, tra le quali:

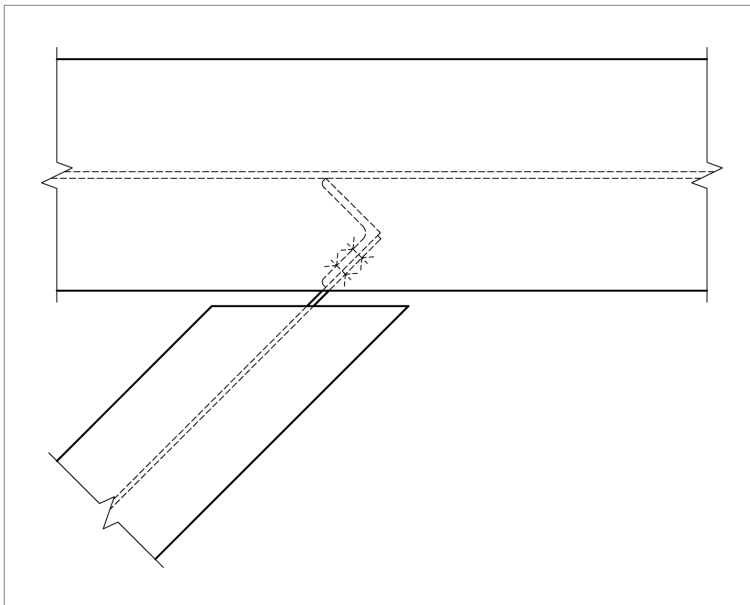
- può essere difficile mantenere in posizione il pezzo;
- mentre il pezzo in officina può essere ruotato e la saldature eseguita in orizzontale, ciò è abbastanza improbabile in cantiere e difficili saldature (ad esempio sopratesta, dove oltre alla scomodità si lotta contro la forza di gravità) possono essere all'ordine del giorno;
- il vento può disturbare il gas di protezione della saldatura, intaccando la qualità;
- saldature a filo come in officina non diventano più facilmente realizzabili, per cui si deve ricorrere di solito all'uso di elettrodi;
- si necessita di personale altamente qualificato nelle saldature per i problemi sopra esposti;
- sorgono problemi nel saldare parti già zincate a caldo in quanto lo zinco degrada il bagno di saldatura e la zincatura viene intaccata; un comune (parziale) rimedio è ritoccare con zinco a freddo dopo la lavorazione.

### › 6.20. Giunti speciali (inclinati)

Si riportano alcuni esempi di giunti definiti “speciali” per la tipologia di connessione non standard o semplicemente per il fatto che le membrature arrivino con angoli non ortogonali (tra i vari esempi, alcuni presi da [43] e [36]).

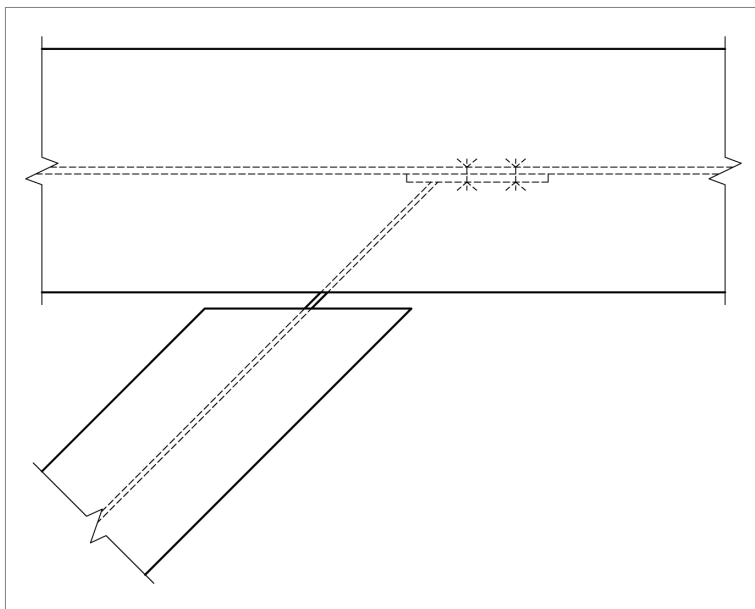


**Figura 6.27.** *Piatto piegato saldato su anima della principale e bullonato a mo' di fin plate su secondaria scantonata*

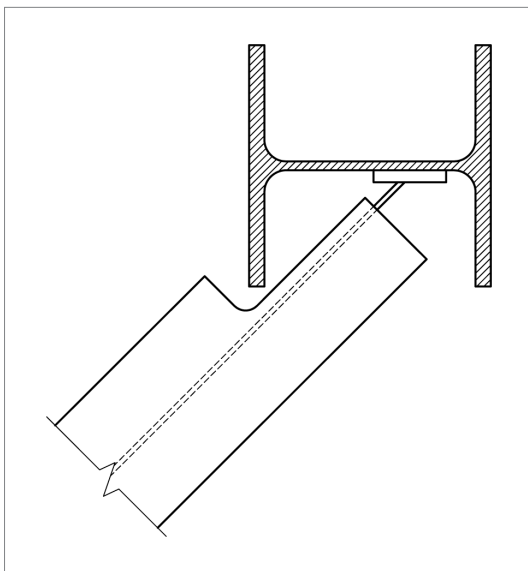


**Figura 6.28.** *Angolare inclinato saldato su anima della principale (aggiungere eventualmente nervature dietro angolare) e bullonato tipo fin plate su secondaria scantonata*

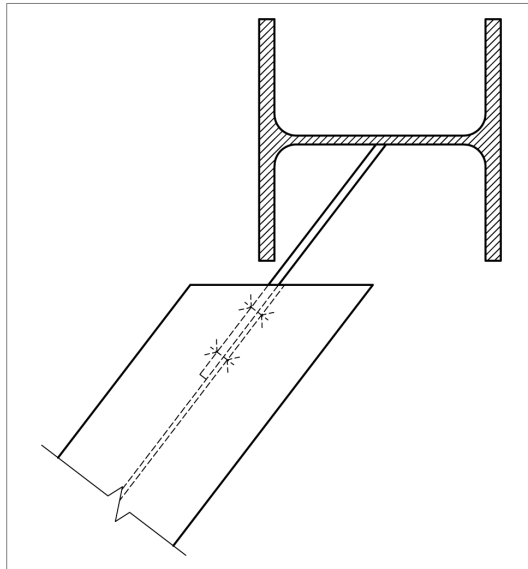




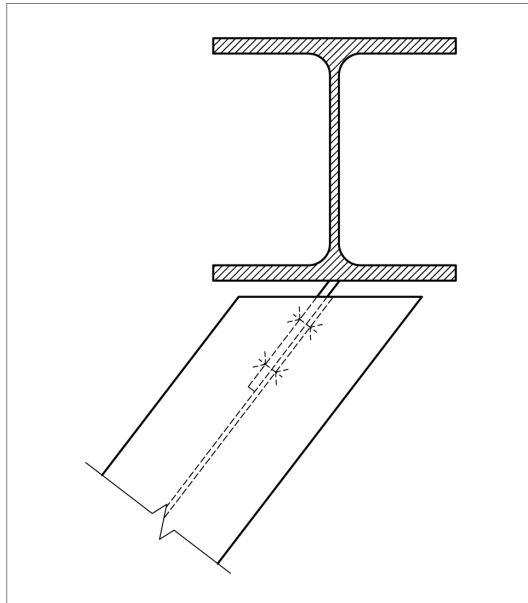
**Figura 6.29.** *Piatto saldato di testa su anima scantonata della secondaria e bullonato su anima della principale*



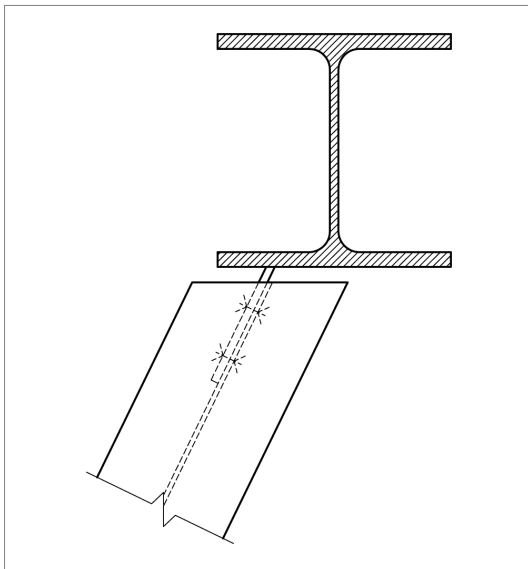
**Figura 6.30.** *Piatto saldato di testa su anima della secondaria scantonata (spallatura su metà ali) e saldato in cantiere ad anima della principale*



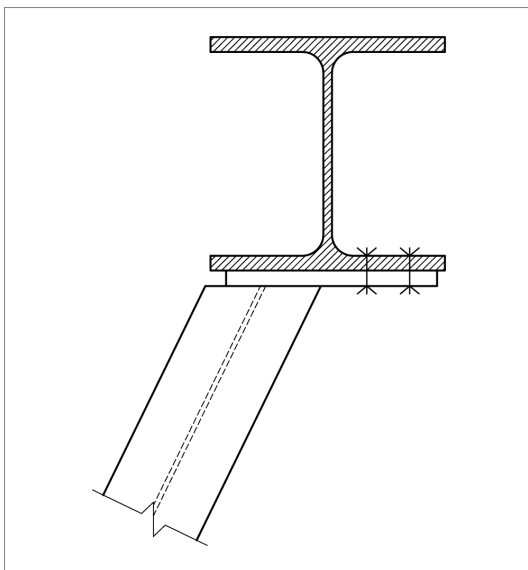
**Figura 6.31.** *Fin plate saldato inclinato come necessario su anima della principale e bullonato su anima della secondaria*



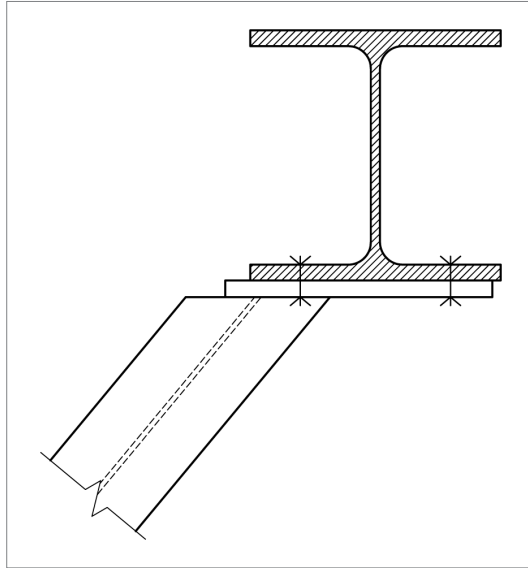
**Figura 6.32.** *Come figura precedente ma su ala colonna*



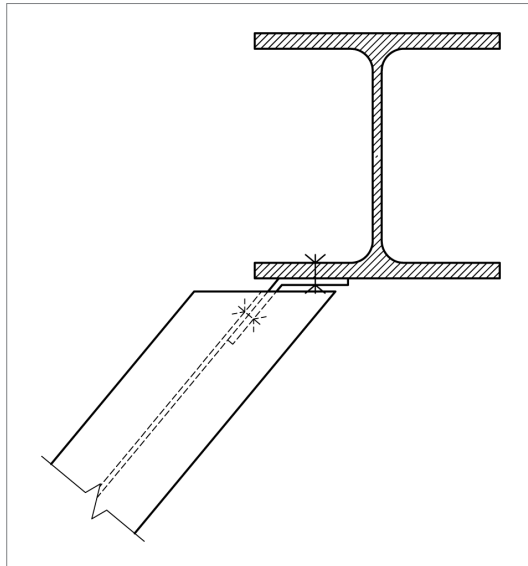
**Figura 6.33.** *Come figura 6.30 ma fin plate laterale; sono verosimilmente necessarie nervature su colonna*



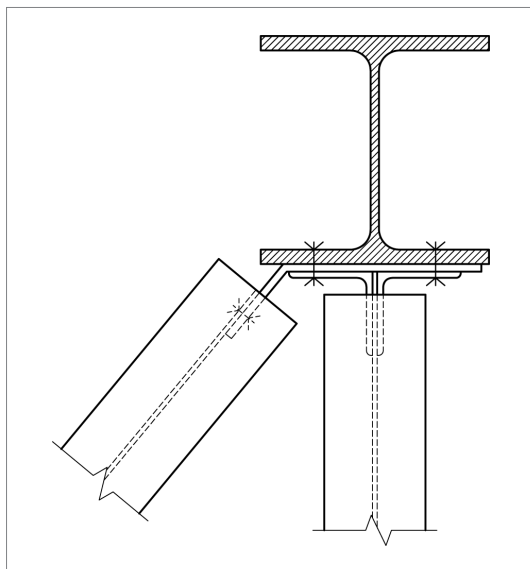
**Figura 6.34.** *Piatto saldato di testa su secondaria e bullonato tipo end plate su mezza ala della principale; soluzione da calcolare attentamente vista posizione dei bulloni*



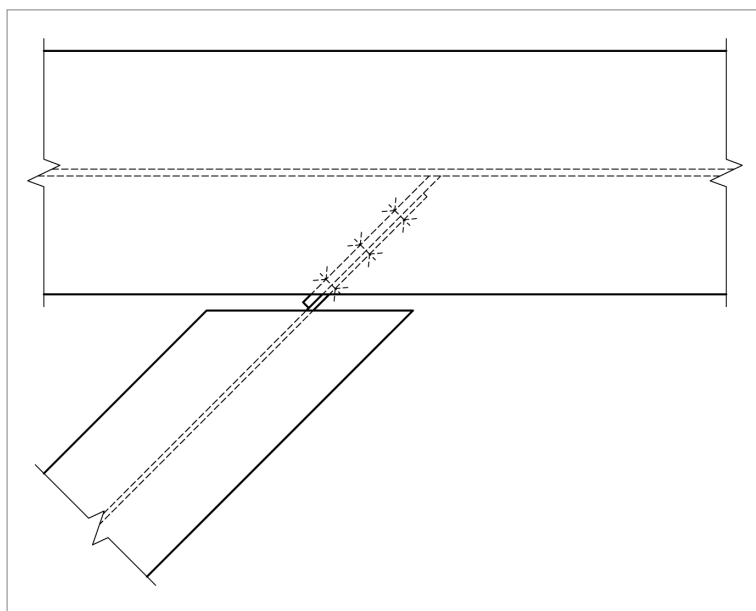
**Figura 6.35.** *Come precedente ma la posizione dei bulloni, se possibile, permette migliore performance*



**Figura 6.36.** *Piatto piegato bullonato su anima della secondaria e bullonato su mezza ala della principale*



**Figura 6.37.** *Piatto piegato saldato (o bullonato) su ala della principale e bullonato su anima della secondaria di sinistra; due angolari bullonati su ala della principale (passanti sull'altro piatto) e saldati (o bullonati) su anima della secondaria centrale*

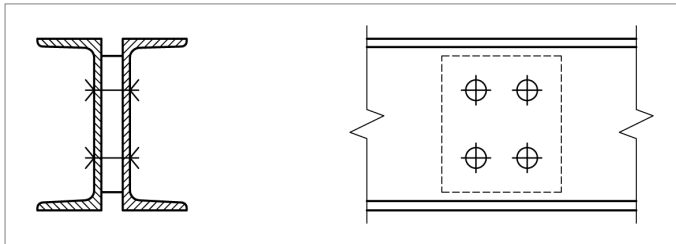


**Figura 6.38.** *Piatto tipo fin plate saldato con angolo necessario su anima della principale e bullonato su secondaria scantonata*

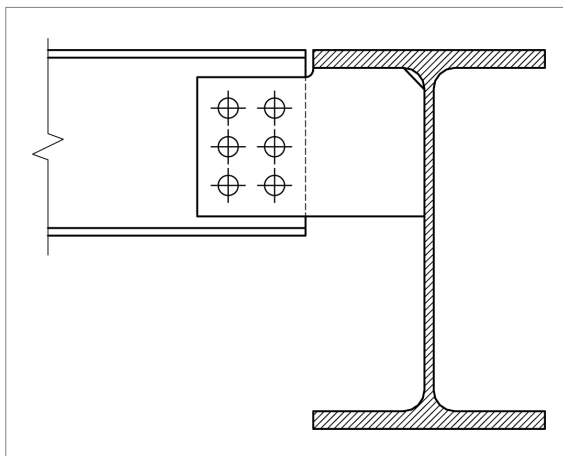
**ESEMPI DI POSSIBILI REALIZZAZIONI**

Seguono diversi esempi “qualitativi” (non vi sono misure e dimensioni) di possibili realizzazioni di giunzioni. La casistica è infinita e le tipologie qui rappresentate sono solo alcune delle possibili.

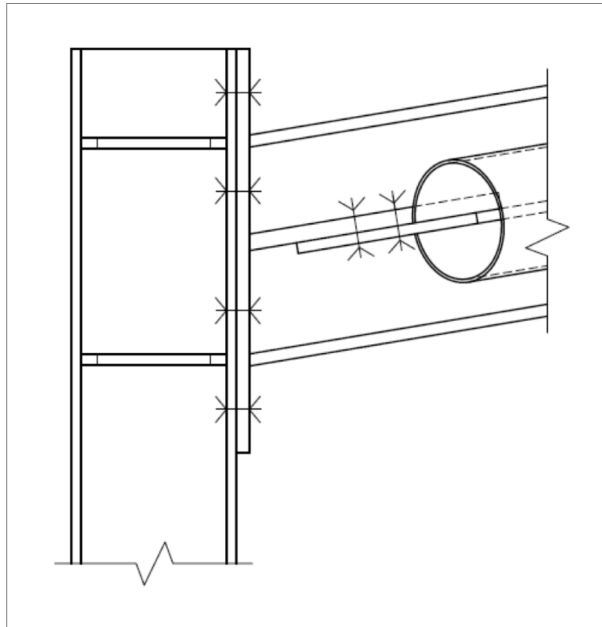
Gli esempi qui accennati possono però in un certo senso aiutare l'ingegnere a visualizzare possibili soluzioni, ispirandolo nella scelta delle connessioni progetto per progetto.



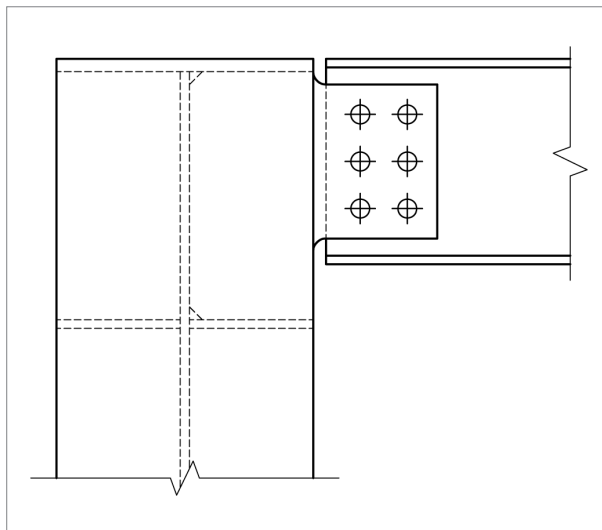
**Figura 7.1.** *Abbottonatura o imbottitura di grossi profili a U*



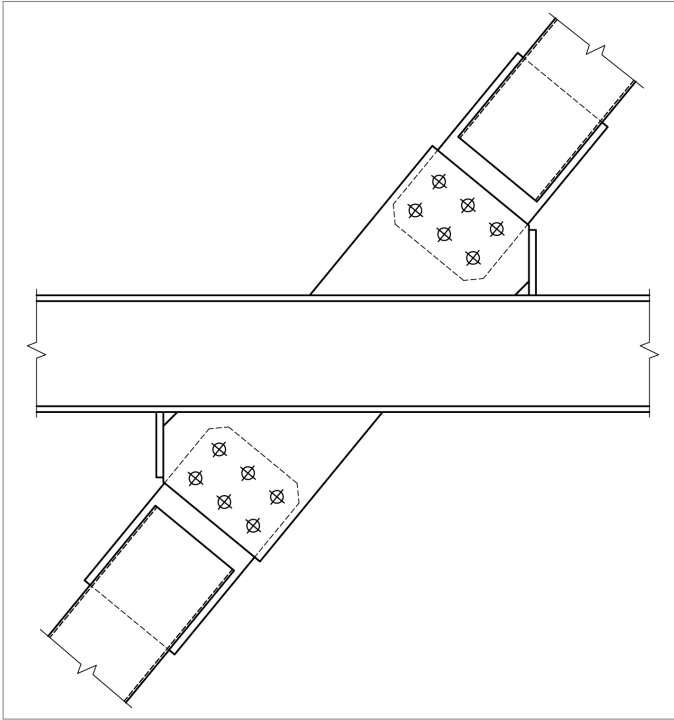
**Figura 7.2.** *Fin plate trave-trave saldato su ala superiore e mezza anima della principale*



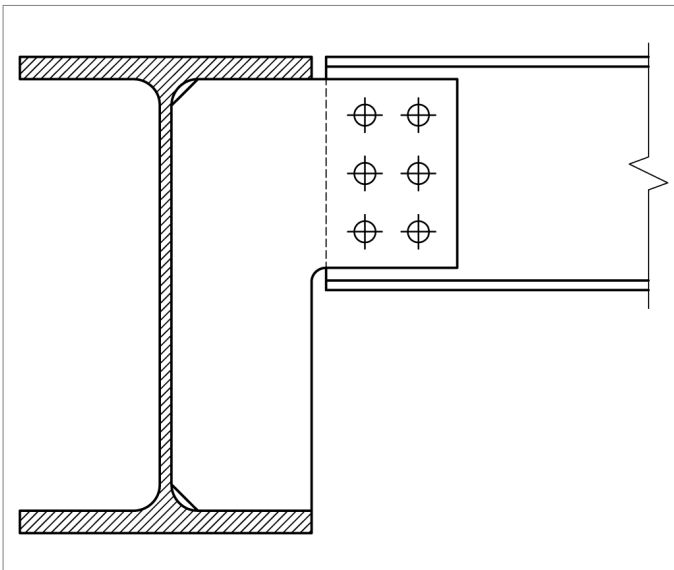
**Figura 7.3.** Portale trave-colonna con controvento di falda in tubolare



**Figura 7.4.** Fin plate trave-colonna saldato su irrigidimenti orizzontali ed anima colonna

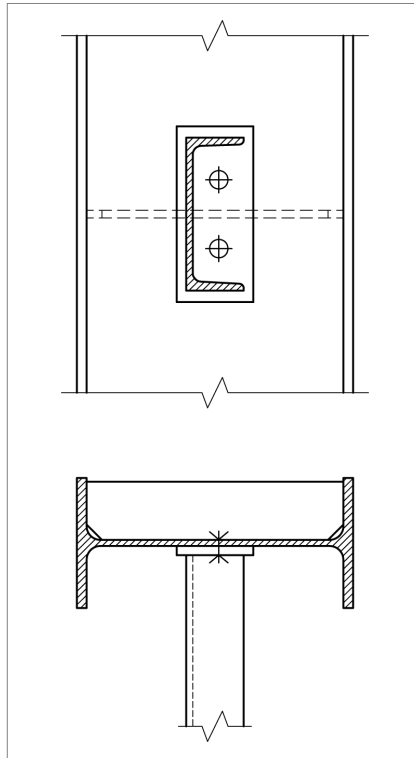


**Figura 7.5.** Controvento o diagonale in tubolare interrotto da traverso

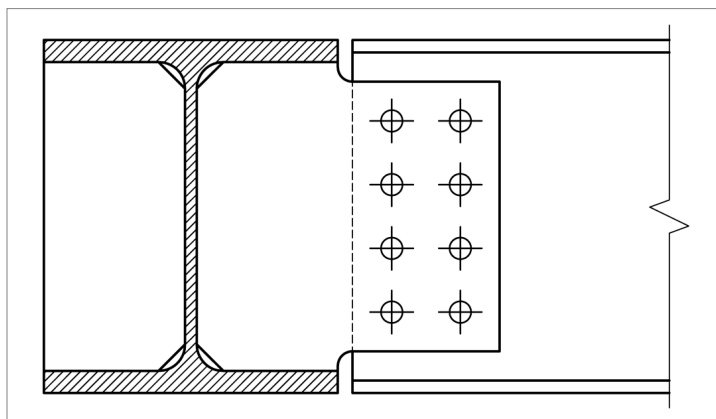


**Figura 7.6.** Fin plate con piatto a piena profondità saldato su principale

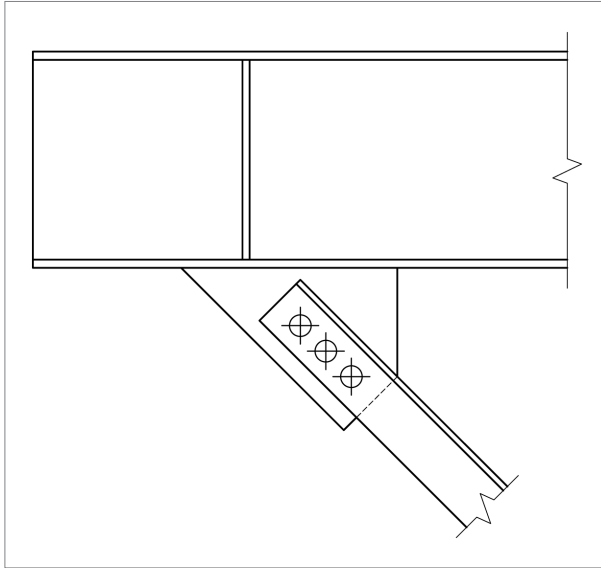




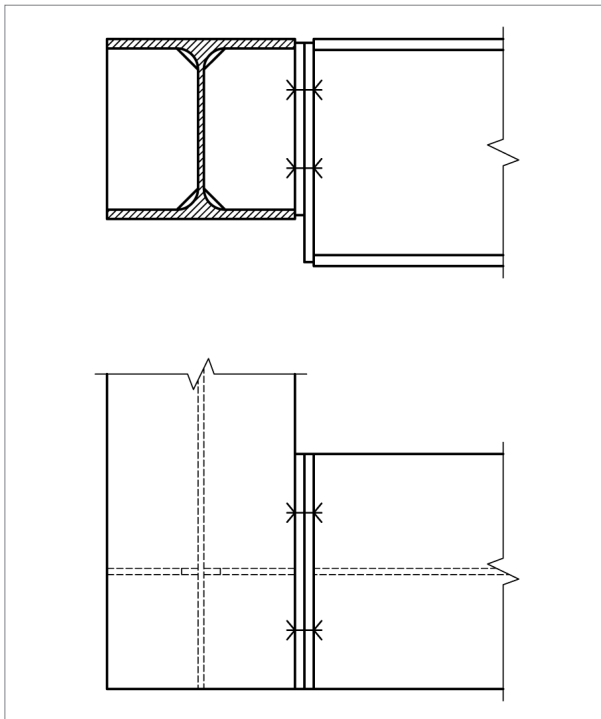
**Figura 7.7.** *U (possibile cosciale scala) bullonato su anima della colonna*



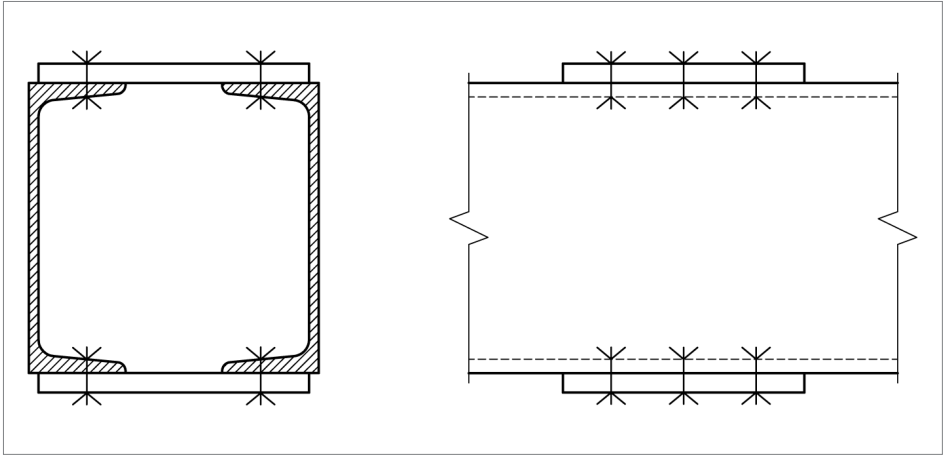
**Figura 7.8.** *Fin plate con irrigidimento su lato opposto*



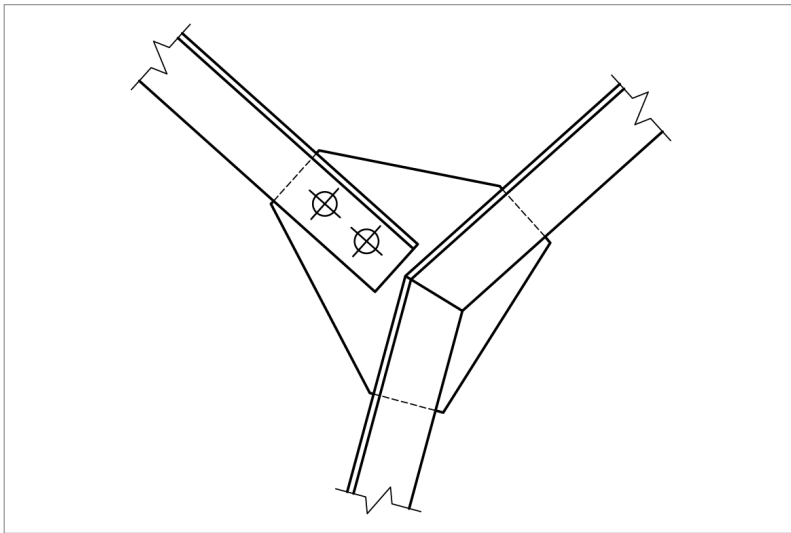
**Figura 7.9.** *Puntone di sostegno in angolari per trave*



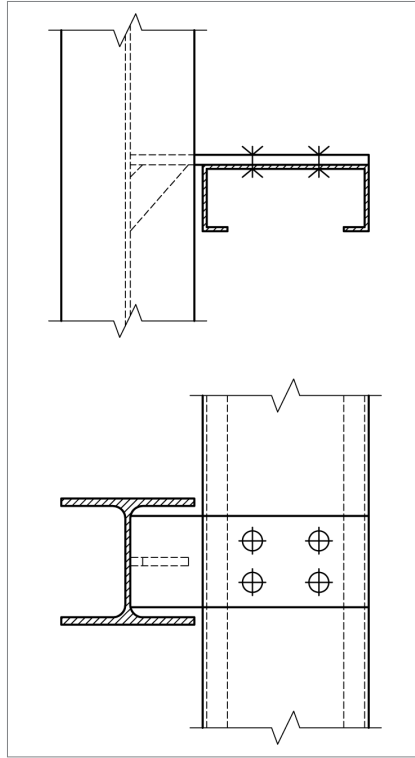
**Figura 7.10.** *End plate in angolo*



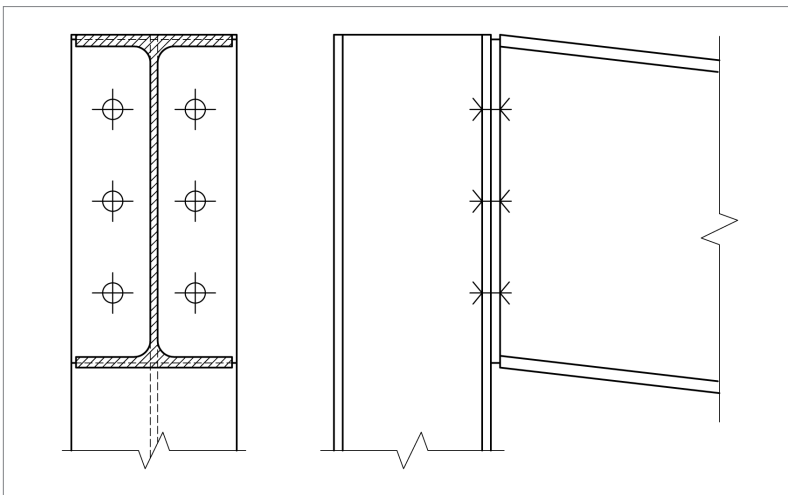
**Figura 7.11.** Collegamento di profili a U su ali



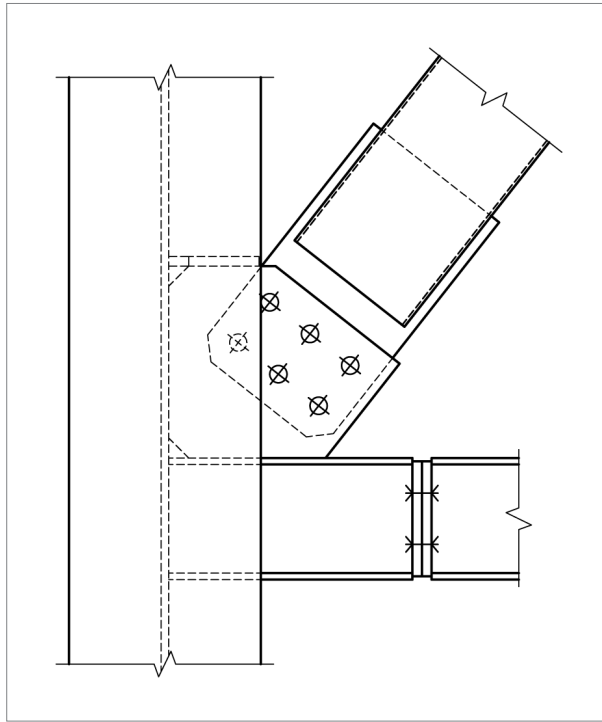
**Figura 7.12.** Piatto centrale di controvento a K



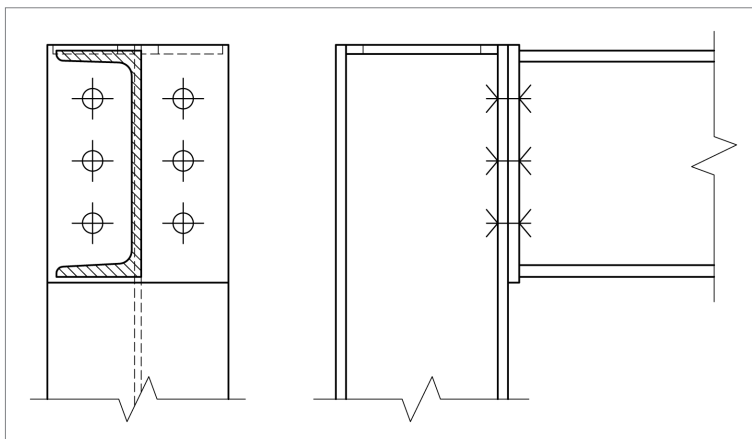
**Figura 7.13.** Collegamento su colonna di profilo a C per tamponamento laterale



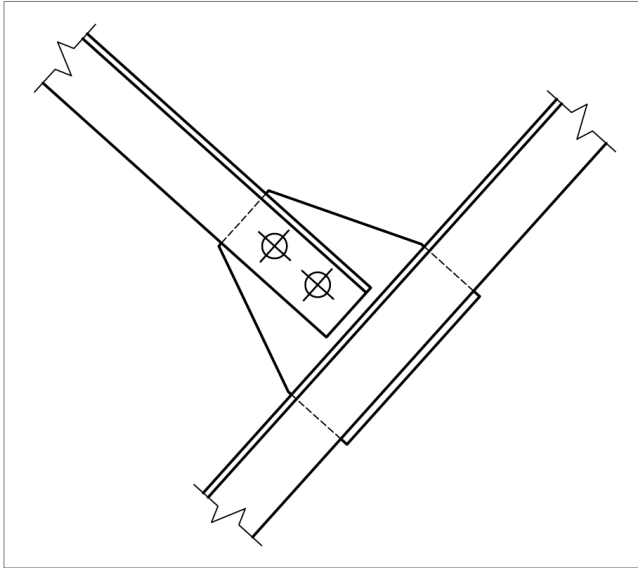
**Figura 7.14.** End plate di trave inclinata su colonna



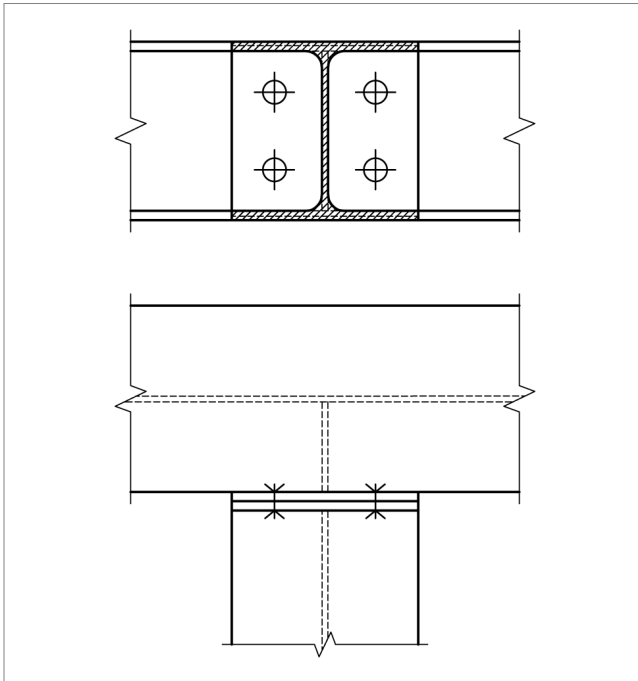
**Figura 7.15.** Dettaglio controvento in tubolare e spezzone di trave saldato su anima della colonna



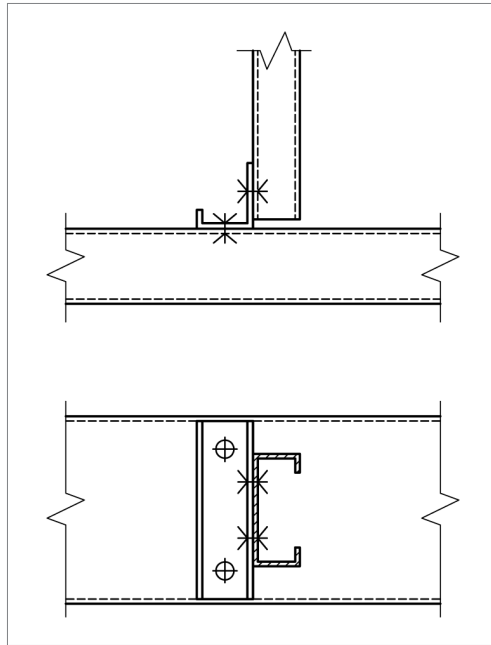
**Figura 7.16.** Attacco di profilo U (possibile cosciale scala) a montante



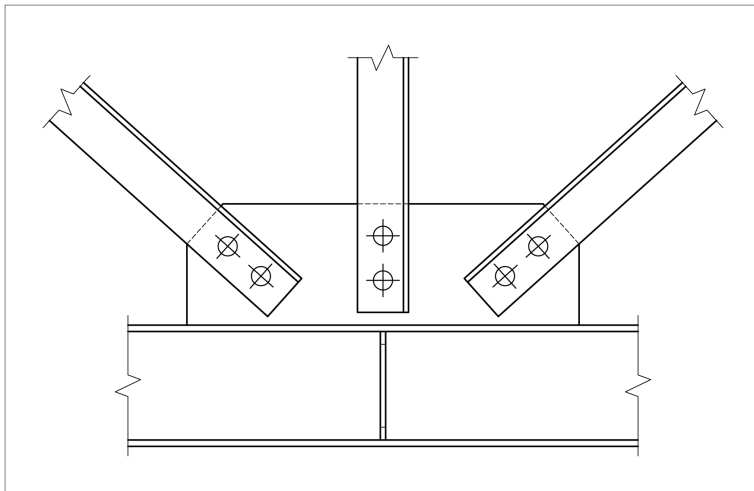
**Figura 7.17.** Collegamento fra diagonali di una capriata (rompitratte bullonato)



**Figura 7.18.** End plate con nervatura centrale fra travi tipo HEA



**Figura 7.19.** Collegamento rompitratta interamente bullonato per arcarecci a C



**Figura 7.20.** Collegamento di angolari su trave