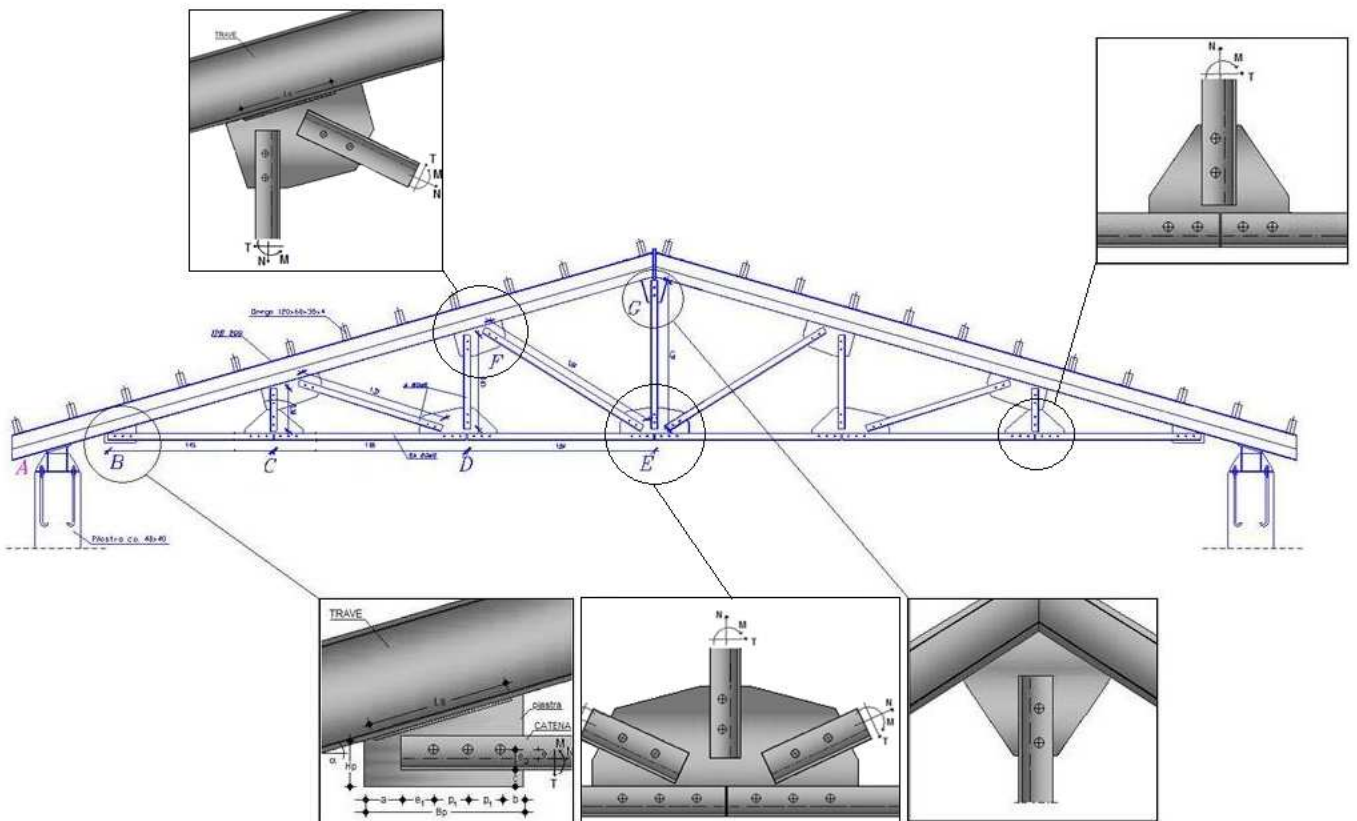


# UNIONI BULLONATE e SALDATE

## VERIFICA AGLI STATI LIMITE

D.M. 14/01/2008 “NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI”



Appunti di Mario Zafonte

1.	GENERALITA'.....	3
2.	IL MATERIALE.....	3
3.	GEOMETRIA DEL BULLONE.....	4
4.	NORMATIVA.....	5
4.1.	Resistenza di calcolo a Taglio dei Bulloni (art. 4.1.2.1.1.1) .....	6
4.2.	Resistenza di calcolo a Rifollamento della Lamiera (art. 4.1.2.1.1.1) .....	6
4.3.	Resistenza di calcolo a Trazione dei Bulloni (art. 4.1.2.1.1.1) .....	7
4.4.	Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo (art. 4.1.2.1.1.1).....	7
4.5.	Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo (art. 4.1.2.1.1.3) .....	7
5.	TIPI DI UNIONI .....	8
5.1.	UNIONI RESISTENTI A TAGLIO .....	8
5.2.	UNIONI RESISTENTI A TRAZIONE .....	9
5.3.	UNIONI RESISTENTI A TAGLIO E TRAZIONE .....	9
5.4.	UNIONI CON SALDATURE A CORDONE D'ANGOLO.....	10
5.4.1.	Resistenza delle saldature a cordone d'angolo (art. 4.2.8.2.4) .....	10
6.	UNIONE COLONNA - PLINTO.....	12
7.	CERNIERA SOGGETTA A COMPRESSIONE CENTRATA.....	14
8.	CERNIERA SOGGETTA A TRAZIONE CENTRATA .....	16
9.	CERNIERA SOGGETTA A SFORZO ASSIALE E TAGLIO .....	18
10.	INCASTRO - SFORZO ASSIALE , MOMENTO FLETTENTE , TAGLIO.....	19
11.	ESEMPIO UNIONE COLONNA PLINTO – INCASTRO.....	21
12.	UNIONE TRAVE – CATENA .....	23
13.	PIASTRA DI NODO CON PROFILO SINGOLO .....	27
14.	UNIONE TRAVE – TRAVE CON FLANGIA .....	30
14.1.	Unione soggetta a Sforzo Assiale interno al Nocciolo d'inerzia .....	31
14.2.	Unione soggetta a Flessione Semplice .....	32
14.3.	Unione soggetta a Presso/Tenso Flessione.....	33

## 1. GENERALITA'

Le unioni bullonate, come indicato al paragrafo 4.2.8 delle NTC, sono considerate sistemi di unione elementari, in quanto parti costituenti i collegamenti strutturali tra le membrature in acciaio.

Le sollecitazioni agenti nei collegamenti allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio si devono valutare con i criteri indicati in § 4.2.2.

Le sollecitazioni così determinate possono essere distribuite, con criteri elastici oppure plastici, nei singoli elementi costituenti i collegamenti strutturali tra le membrature a condizione che:

- le azioni così ripartite fra gli elementi di unione elementari (unioni) del collegamento siano in equilibrio con quelle applicate e soddisfino la condizione di resistenza imposta per ognuno di essi;
- le deformazioni derivanti da tale distribuzione delle sollecitazioni all'interno degli elementi di unione non superino la loro capacità di deformazione.

## 2. IL MATERIALE

Nei collegamenti con bulloni "non precaricati" si possono impiegare viti delle classi da 4.6 a 10.9 di cui al § 11.3.4.6.

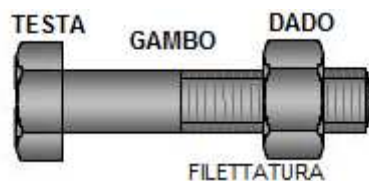
I bulloni - conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968 devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001, associate nel modo indicato nella Tabella:

	Normali			Ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Dado	4	5	6	8	10
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	480	649	900
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000

Le tensioni di snervamento  $f_{yb}$  e di rottura  $f_{tb}$  delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente tabella, sono ricavabili direttamente dalla classe in quanto il primo numero indica il valore di rottura mentre il secondo indica il valore di snervamento quale percentuale di quello di rottura.

$$\text{ES. CLASSE 5.6} \quad f_{tb} = 500 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yb} = 0.6 \cdot 500 = 300 \text{ N/mm}^2$$

### 3. GEOMETRIA DEL BULLONE



Le dimensioni caratteristiche di un bullone sono:

d diametro nominale del gambo

p passo della filettatura

A<sub>res</sub> area resistente

#### CARATTERISTICHE BULLONI

d	p	A <sub>res</sub>	A	A <sub>res</sub> /A	d	p	A <sub>res</sub>	A	A <sub>res</sub> /A
8	1.25	38.6	50.3	0.77	33	3.5	694	855	0.81
10	1.50	58.0	78.5	0.74	36	4.0	817	1018	0.80
12	1.75	84.3	113	0.75	39	4.0	976	1195	0.82
14	2.00	115	154	0.75	42	4.5	1120	1385	0.81
16	2.00	157	201	0.78	45	4.5	1310	1590	0.82
18	2.50	192	254	0.75	48	5.0	1470	1810	0.81
20	2.50	245	314	0.78	52	5.0	1760	2124	0.83
22	2.50	303	380	0.80	56	5.5	2030	2463	0.82
24	3.00	353	452	0.78	60	5.5	2360	2827	0.83
27	3.00	459	573	0.80	64	6.0	2680	3217	0.83
30	3.50	581	707	0.82	68	6.0	3060	3632	0.84

d Diametro Bullone ( mm. )

p Passo filettatura ( mm. )

A<sub>res</sub> Area Resistente ( mmq. )

## 4. NORMATIVA

Ai fini del calcolo e della verifica delle Unioni Bullonate, si fa riferimento a quanto indicato dal D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

In particolare, secondo quanto indicato al par. 4.2.8.1.1, per il calcolo della resistenza a taglio delle viti e dei chiodi, per il rifollamento delle piastre collegate e per il precarico dei bulloni, si adottano i fattori parziali  $\gamma_M$  indicati in Tab. 4.2.XII.

**Tabella 4.2. XII** Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni.

Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistenza dei chiodi	
Resistenza delle connessioni a perno	
Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo	
Resistenza dei piatti a contatto	
Resistenza a scorrimento per SLU	$\gamma_{M3} = 1,25$
per SLE	$\gamma_{M3} = 1,10$
Resistenza delle connessioni a perno allo stato limite di esercizio	$\gamma_{M6,ser} = 1,0$
Precarico di bulloni ad alta resistenza	$\gamma_{M7} = 1,10$

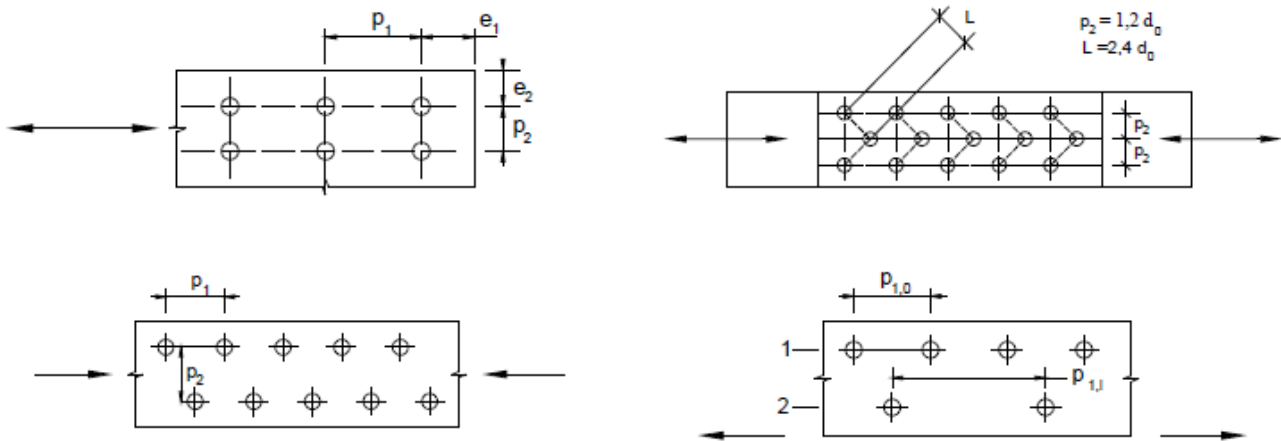
La posizione dei fori per le unioni bullonate o chiodate deve rispettare le limitazioni presentate nella Tab. 4.2.XIII.

**Tabella 4.2.XIII** Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.

Distanze e interassi (Fig. 4.2.3)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (EN10025-5)
$e_1$	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t; 125\text{mm})$
$e_2$	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t; 125\text{mm})$
$p_1$	$2,2 d_0$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 175\text{mm})$
$p_{1,0}$	-	$\min(14t; 200\text{mm})$	-	-
$p_{1,i}$	-	$\min(28t; 400\text{mm})$	-	-
$p_2$	$2,4 d_0$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 175\text{mm})$

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se  $(p_1/t) < [9(235/f_y)^{0.5}]$ : in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a  $0.6 \cdot p_1$ .  
t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

I fori devono avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato al massimo di 1 mm, per bulloni sino a 20 mm di diametro, e di 1,5mm per bulloni di diametro maggiore di 20 mm. Si può derogare da tali limiti quando eventuali assestamenti sotto i carichi di servizio non comportino il superamento dei limiti di deformabilità o di servizio. Quando necessario, è possibile adottare "accoppiamenti di precisione" in cui il gioco foro-bullone non dovrà superare 0,3 mm per bulloni sino a 20 mm di diametro e 0,5 mm per bulloni di diametro superiore, o altri accorgimenti di riconosciuta validità.



La verifica allo Stato Limite Ultimo dipendente dal tipo di unione considerata (Unione a Taglio, Unione a Trazione, ecc.) viene effettuata verificando che il valore di calcolo della sollecitazione agente sia inferiore al valore di calcolo della resistenza come definito dalla normativa.

**4.1. Resistenza di calcolo a Taglio dei Bulloni (art. 4.1.2.1.1.1)**

La resistenza di calcolo a taglio dei bulloni  $F_{v,Rd}$ , per ogni piano di taglio che interessa il gambo dell'elemento di connessione, può essere assunta pari a:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8}$$

$$F_{v,Rd} = 0,5 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per bulloni classe 6.8 e 10.9;}$$

dove:

$A_{res}$  indica l'area resistente della vite e si adotta quando il piano di taglio interessa la parte filettata della vite;

$f_{tb}$ , indica la resistenza a rottura del materiale impiegato per realizzare il bullone.

**4.2. Resistenza di calcolo a Rifollamento della Lamiera (art. 4.1.2.1.1.1)**

La resistenza di calcolo a rifollamento  $F_{b,Rd}$  del piatto dell'unione bullonata, può essere assunta pari a

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

dove:

$d$  è il diametro nominale del gambo del bullone,

$t$  è lo spessore della piastra collegata,

$f_{tk}$  è la resistenza a rottura del materiale della piastra collegata,

$$\alpha = \min \{ e_1 / (3 d_0) ; f_{tb} / f_t ; 1 \}$$

per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato

$$\alpha = \min \{ p_1 / (3 d_0) - 0,25 ; f_{tb} / f_t ; 1 \}$$

per bulloni interni nella direzione del carico applicato

$$k = \min \{ 2,8 e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5 \}$$

per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato,

$$k = \min \{ 1,4 p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5 \}$$

per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico applicato,

$d_0$  il diametro nominale del foro di alloggiamento del bullone

#### **4.3. Resistenza di calcolo a Trazione dei Bulloni (art. 4.1.2.1.1.1)**

La resistenza di calcolo a trazione degli elementi di connessione  $F_{t,Rd}$  può essere assunta pari a:

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}$$

#### **4.4. Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo (art. 4.1.2.1.1.1)**

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione,  $f_{cd}$ , é:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad (4.1.4)$$

dove:

$\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;

$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo;

$f_{ck}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

Il coefficiente  $\gamma_c$  è pari ad 1,5; Il coefficiente  $\alpha_{cc}$  è pari a 0,85.

#### **4.5. Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo (art. 4.1.2.1.1.3)**

La resistenza tangenziale di aderenza di calcolo  $f_{bd}$  vale:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c \quad (4.1.7)$$

dove:

$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, pari a 1,5;

$f_{bk}$  è la resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da:

$$f_{bk} = 2,25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} \quad (4.1.8)$$

in cui

$\eta = 1,0$  per barre di diametro  $\phi \leq 32$  mm

$\eta = (132 - \phi)/100$  per barre di diametro superiore.

Nel caso di armature molto addensate o ancoraggi in zona di calcestruzzo teso, la resistenza di aderenza va ridotta dividendola almeno per 1,5.

## 5. TIPI DI UNIONI

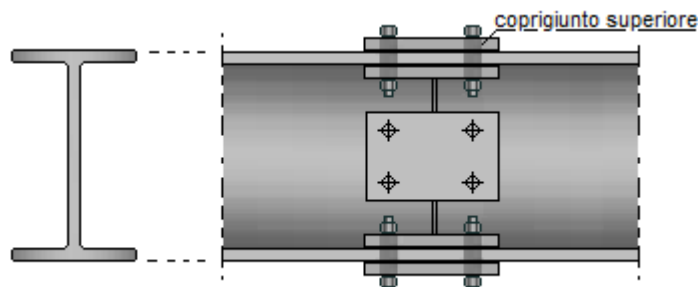
A seconda del tipo di sollecitazione che si ha nell'unione bullonata, le stesse si distinguono prevalentemente in:

- Unioni soggette a Taglio
- Unioni soggette a Trazione
- Unioni soggette a Taglio e Trazione

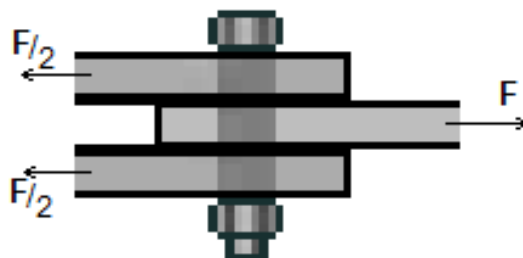
### 5.1. UNIONI RESISTENTI A TAGLIO

Sono tipiche della carpenteria metallica e si ritrovano ogni qualvolta si vuole ripristinare la continuità di elementi interrotti, mediante coprighiunti.

Ad es. se dobbiamo fare una trave con profili tipo IPE che abbia una luce di ml. 30,00, poiché i profili non arrivano a questa dimensione, si può realizzare un'unione del tipo:



la quale può essere ricondotta al seguente schema:



tale tipo di unione è detta "giunto sollecitato prevalentemente a taglio".

In questo caso, il collasso dell'unione può verificarsi:

- per taglio del bullone;
- per rifollamento della lamiera (ovalizzazione del foro);
- per trazione della lamiera;
- per taglio (strappamento) della lamiera.

La verifica dell'unione viene eseguita controllando che il valore del taglio sia inferiore alla resistenza di calcolo a taglio determinata come indicato dalla normativa (D.M. 14/01/2008) all'art. 4.2.8:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

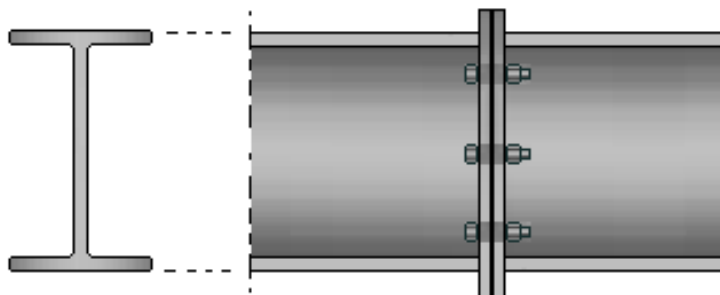
$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$



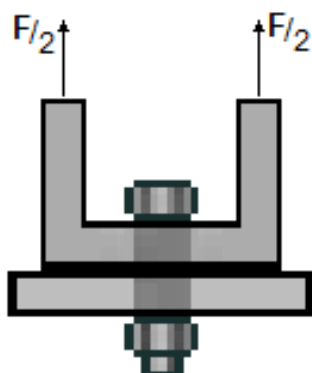
## 5.2. UNIONI RESISTENTI A TRAZIONE

Sono tipiche della carpenteria metallica e si ritrovano ogni qualvolta si vuole ripristinare la continuità di elementi interrotti, mediante flange bullonate.

Ad es. l'unione di due profili, soggetta a momento flettente, si può realizzare nel seguente modo:



la quale può essere ricondotta al seguente schema:



tale tipo di unione è detta "giunto sollecitato prevalentemente a trazione".

La verifica dell'unione viene eseguita controllando che il valore dello sforzo di trazione sia inferiore alla resistenza di calcolo a trazione determinata come indicato dalla normativa (D.M. 14/01/2008) all'art. 4.2.8:

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

## 5.3. UNIONI RESISTENTI A TAGLIO E TRAZIONE

Nelle unioni soggette contemporaneamente a trazione e taglio, la verifica può essere effettuata utilizzando la formula di interazione lineare:

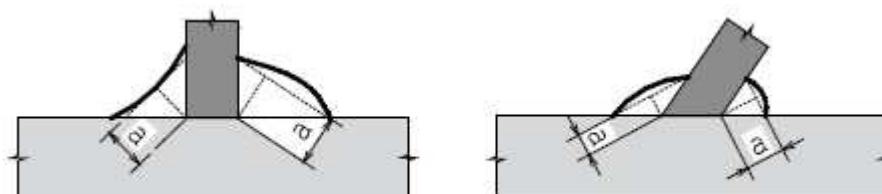
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

Inoltre,  $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$  e  $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$

## 5.4. UNIONI CON SALDATURE A CORDONE D'ANGOLO

Poiché nelle unioni bullonate, i singoli profili sono in genere bullonati a delle piastre che a loro volta possono essere saldate ad altri profili, si riporta quanto indicato dalla normativa per le unioni con saldature a cordone d'angolo.

La resistenza di progetto, per unità di lunghezza, dei cordoni d'angolo si determina con riferimento all'altezza di gola "a", cioè all'altezza "a" del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone stesso.



*Definizione dell'area di gola per le saldature a cordone d'angolo.*

La lunghezza di calcolo L è quella intera del cordone, purché questo non abbia estremità palesemente mancanti o difettose.

Eventuali tensioni  $\sigma_{//}$  definite al § successivo agenti nella sezione trasversale del cordone, inteso come parte della sezione resistente della membratura, non devono essere prese in considerazione ai fini della verifica del cordone stesso.

Per il calcolo della resistenza delle saldature con cordoni d'angolo, qualora si faccia riferimento ai modelli di calcolo presentati nel paragrafo seguente, si adottano i fattori parziali  $\gamma_M$  indicati in Tab.4.2.XII. E' possibile utilizzare modelli contenuti in normative di comprovata validità, adottando fattori parziali  $\gamma_M$  che garantiscano i livelli di sicurezza stabiliti nelle presenti norme.

Ai fini della durabilità delle costruzioni, le saldature correnti a cordoni intermittenti, realizzati in modo non continuo lungo i lembi delle parti da unire, non sono ammesse in strutture non sicuramente protette contro la corrosione.

Per le verifiche occorre riferirsi alternativamente alla sezione di gola nella effettiva posizione o in posizione ribaltata, come indicato nel paragrafo successivo.

### 5.4.1. Resistenza delle saldature a cordone d'angolo (art. 4.2.8.2.4)

Allo stato limite ultimo le azioni di calcolo sui cordoni d'angolo si distribuiscono uniformemente sulla sezione di gola.

Nel seguito si indicano con  $\sigma_{\perp}$  la tensione normale e con  $\tau_{\perp}$  la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone d'angolo, agenti nella sezione di gola nella sua posizione effettiva, e con  $\sigma_{//}$  la tensione normale e con  $\tau_{//}$  la tensione tangenziale parallele all'asse del cordone d'angolo. La tensione normale  $\sigma_{//}$  non influenza la resistenza del cordone.

Considerando la sezione di gola nella sua effettiva posizione, si può assumere la seguente condizione di resistenza

$$\left[ \sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2) \right]^{0,5} \leq f_{tk} / (\beta \gamma_{M2})$$

dove

$f_{tk}$  è la resistenza a rottura del più debole degli elementi collegati,

$\beta = 0,80$  per acciaio S235,  $\beta = 0,85$  per acciaio S275

$\beta = 0,90$  per acciaio S355,  $\beta = 1,00$  per acciaio S420 e S460.

Considerando la sezione di gola in posizione ribaltata, si indicano con  $n_{\perp}$  e con  $t_{\perp}$  la tensione normale e la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone.

La verifica dei cordoni d'angolo si effettua controllando che siano soddisfatte simultaneamente le due condizioni:

$$\sqrt{n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$
$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

dove  $f_{yk}$  è la tensione di snervamento caratteristica ed i coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  sono dati, in funzione del grado di acciaio, in Tab. 4.2.XIV.

**Tabella 4.2.XIV** Valori dei coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$

	S235	S275 - S355	S420 - S460
$\beta_1$	0,85	0,70	0,62
$\beta_2$	1,0	0,85	0,75

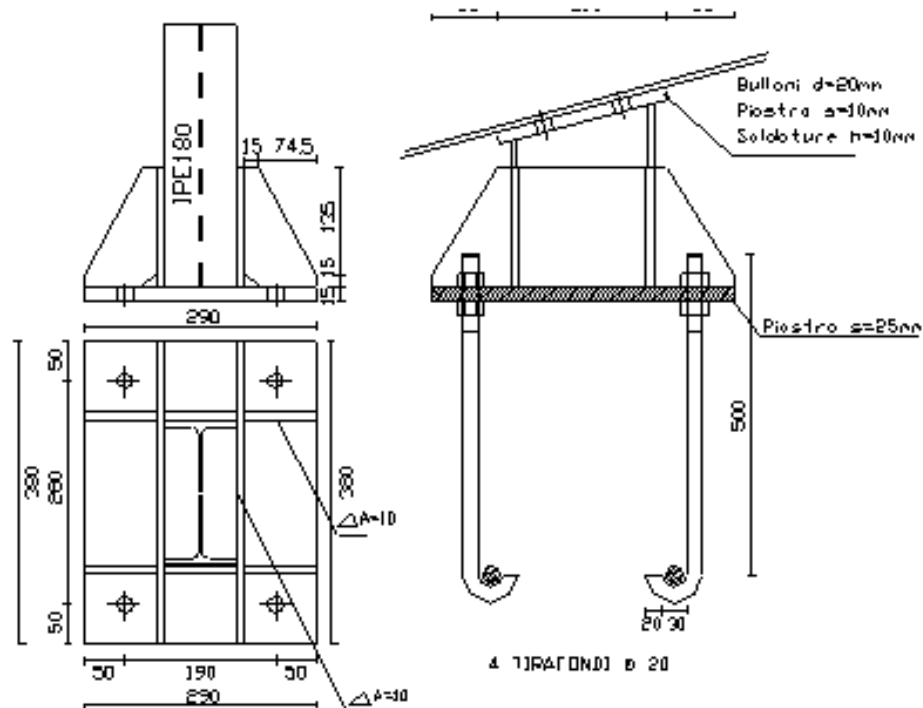
## 6. UNIONE COLONNA - PLINTO

Al fine di ancorare le strutture in acciaio al suolo in genere le colonne vengono collegate alle opere di fondazione in cemento armato (travi di fondazione, plinti, platee, etc.).

Il modo di realizzare il collegamento di un elemento in acciaio con un elemento in calcestruzzo dipende, essenzialmente dalle sollecitazioni che bisogna trasmettere alle fondazioni e dal tipo di vincolo (appoggio semplice, cerniera, incastro).

Poiché l'elemento in acciaio non può essere semplicemente infisso nel cls. in quanto si avrebbero elevate tensioni di contatto, in genere l'unione viene realizzata saldando alla colonna metallica una piastra in acciaio che consente di estendere in modo adeguato la superficie di contatto.

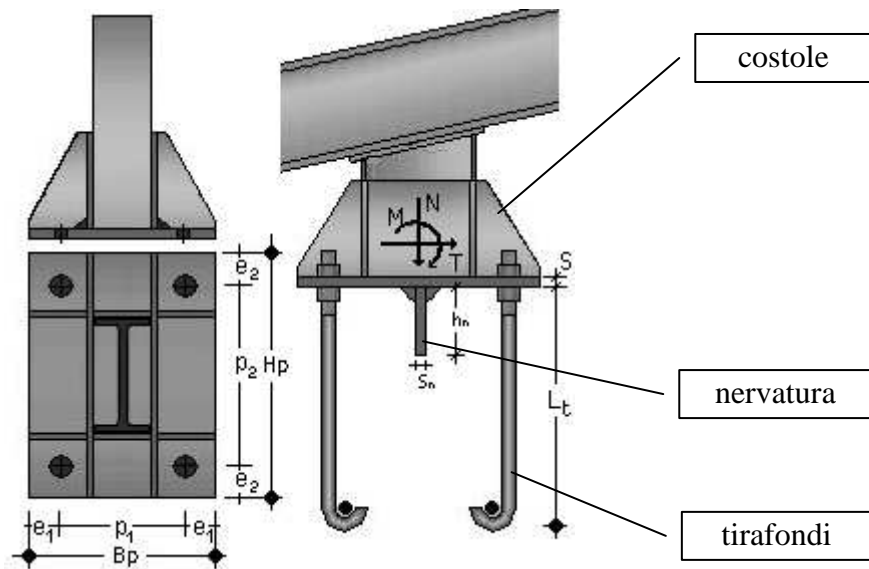
Tale piastra viene collegata al calcestruzzo mediante delle barre tonde, dette tirafondi.



Poiché la piastra ha un comportamento elastico che può permettere dei piccoli movimenti rotazionali dell'unione, nel caso in cui si vuole realizzare il vincolo di incastro, oltre agli

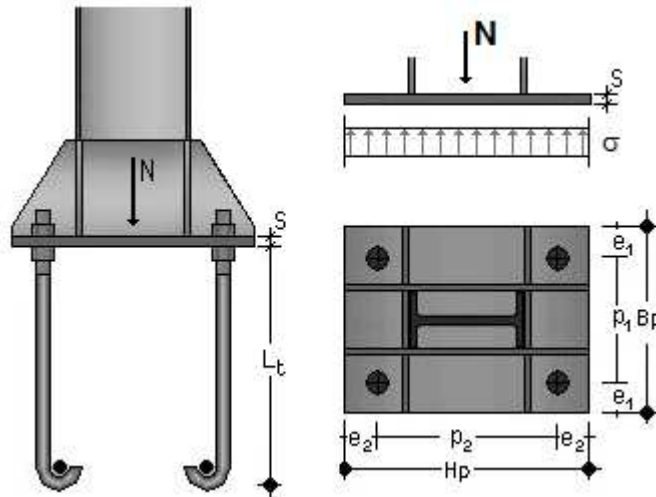
elementi suddetti, l'unione viene irrigidita da elementi in acciaio detti "costole" che vengono saldati verticalmente alla colonna.

Inoltre, se l'unione è sollecitata da sforzi di taglio, sotto la piastra viene saldata una piastra verticale detta "nervatura" la quale impedisce il movimento orizzontale.



## 7. CERNIERA SOGGETTA A COMPRESSIONE CENTRATA

Nel caso di unione soggetta solo a sforzo assiale di compressione, lo stesso viene trasferito alla fondazione in c.a. direttamente dalla piastra di base. I tirafondi non sono sollecitati né da sforzi di taglio né da sforzi di trazione.



Occorre quindi verificare solo la sezione di calcestruzzo, di base  $B_p$  ed altezza  $H_p$ , soggetta a compressione centrata.

A tale scopo, si determina il valore di calcolo dello Sforzo Assiale Resistente:

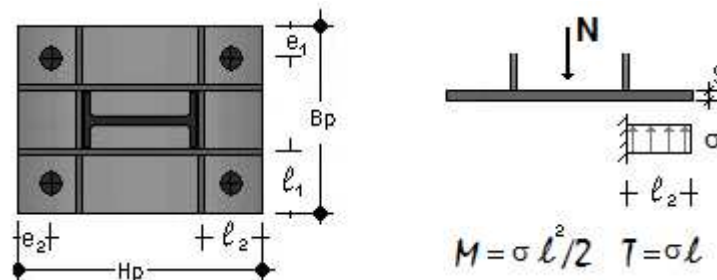
$$N_{RD} = B \cdot H \cdot f_{cd}$$

e si verifica che risulti:

$$N_{ED} = N \leq N_{RD}$$

### Verifica piastra di base

La verifica della piastra di base può essere eseguita ipotizzando che la stessa sia incastrata alla base del profilo,



Determinata la resistenza di calcolo a flessione:

$$M_{c,Rd} = \frac{W \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$$

e la resistenza di calcolo a taglio:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M}$$

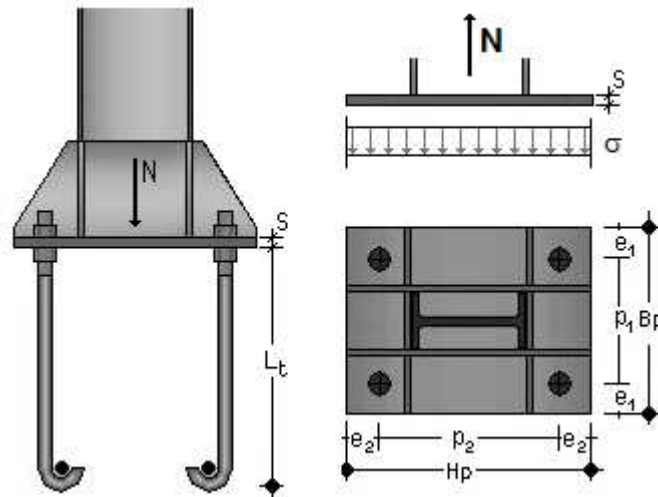
si verifica che risulti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1; \quad \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

in entrambe le direzioni.

## 8. CERNIERA SOGGETTA A TRAZIONE CENTRATA

Nel caso di unione soggetta solo a sforzo assiale di trazione, lo stesso viene trasferito alla fondazione in c.a. tramite i tirafondi.



Detta  $A_s$  l'area complessiva di acciaio, costituita dai tirafondi, il valore di calcolo dello Sforzo Assiale Resistente risulta:

$$N_{RD} = f_{yd} \cdot A_s$$

e si deve verificare che risulti:

$$N_{ED} = N \leq N_{RD}$$

Oltre alla verifica su indicata, la quale ci consente di dimensionare i tirafondi, occorre inoltre verificare che i tirafondi possano effettivamente trasmettere lo sforzo di trazione al cls.

Ipotizzando che i tirafondi siano semplicemente annegati nel cls. si verifica che l'ancoraggio degli stessi sia idoneo in relazione all'aderenza acciaio-calcestruzzo.

### Verifica ancoraggio tirafondi

Indicato con  $n$  il numero di tirafondi, il valore di calcolo dello Sforzo Assiale Resistente (di aderenza) risulta:



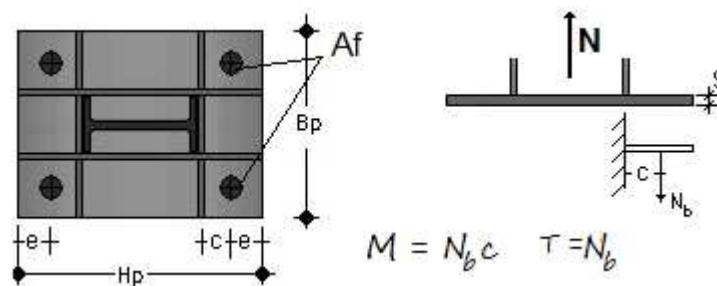
$$N_{bd} = n \cdot f_{bd} \cdot \pi \cdot D \cdot L$$

il quale deve risultare maggiore dello sforzo assiale che i tirafondi devono trasmettere alla fondazione:

$$N_{ED} = N \leq N_{bd}$$

### Verifica piastra di base

La verifica della piastra di base può essere eseguita ipotizzando che la stessa sia incastrata alla base del profilo,



Determinata la resistenza di calcolo a flessione:

$$M_{c,Rd} = \frac{W \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{B \cdot s^2}{6} f_{yd}$$

e la resistenza di calcolo a taglio:

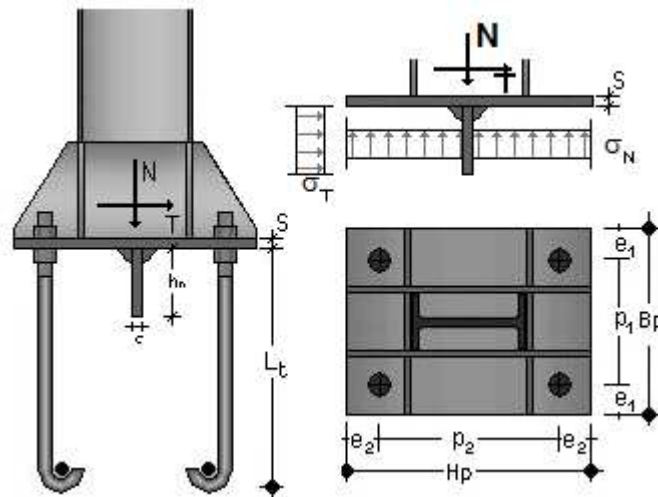
$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{A_v}{\sqrt{3}} f_{yd} = \frac{B \cdot s}{\sqrt{3}} f_{yd}$$

si verifica che risulti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1; \quad \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

## 9. CERNIERA SOGGETTA A SFORZO ASSIALE E TAGLIO

Nel caso di unione soggetta a sforzo assiale (sia esso di compressione o di trazione) e taglio, l'unione può essere realizzata come in figura, saldando una nervatura sotto la piastra di base.



La forza di taglio si trasmette alla fondazione in calcestruzzo attraverso la nervatura, generando delle tensioni di contatto di compressione sul cls, inoltre la stessa genera delle tensioni di taglio sui tirafondi.

Ipotizzando che la sezione di calcestruzzo, di base \$B\_p\$ ed altezza \$H\_n\$, sia soggetta a compressione centrata, il valore di calcolo del Taglio Resistente è pari a:

$$V_{RD} = B_p \cdot H_n \cdot f_{cd} + f_{vd} \cdot A_s$$

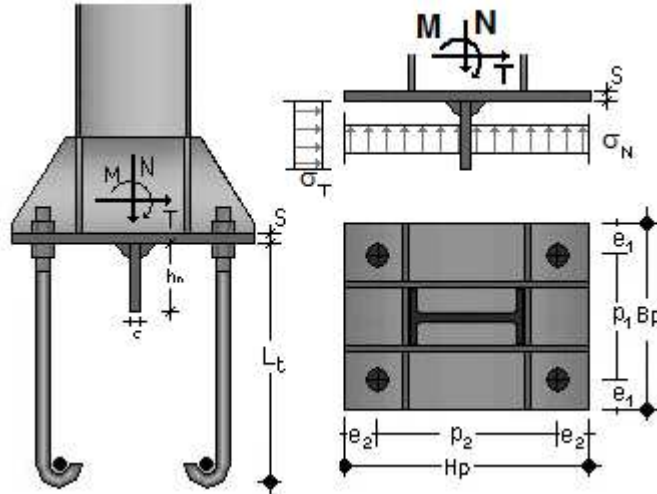
dove:  $f_{vd} = f_{yd} / \sqrt{3} = f_{yk} / \gamma_M \sqrt{3}$

e si verifica che risulti:

$$V_{ED} = T \leq V_{RD}$$

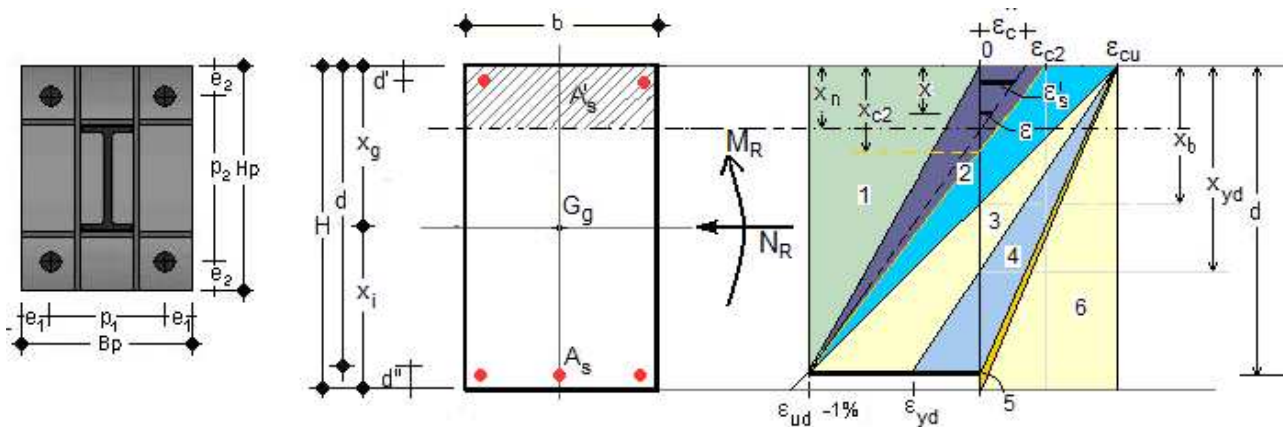
## 10. INCASTRO - SFORZO ASSIALE , MOMENTO FLETTENTE , TAGLIO

Nel caso di unione soggetta a sforzo assiale e momento flettente, nella zona di contatto della piastra può aversi sia compressione che trazione, a seconda del valore delle sollecitazioni  $N$  ed  $M$ .



Per il dimensionamento dei vari elementi bisogna tenere presente che le tensioni di compressione possono essere trasmesse (tramite la piastra) al cls di fondazione, mentre le tensioni di trazione devono essere assorbite dai tirafondi che si hanno nella zona tesa.

In particolare, assegnate le dimensioni della piastra e dei tirafondi, si può procedere alla verifica utilizzando le formule della Presso-Flessione del cemento armato.



Si verifica che, il valore di calcolo del momento resistente corrispondente allo sforzo assiale applicato sia maggiore del momento flettente applicato, secondo quanto indicato dalla normativa vigente (D.M. 14/01/2008)

## Analisi della Sezione

(art. 4.1.2.1.2.4 DM.2008)

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, rappresentata in Fig. 4.1.3

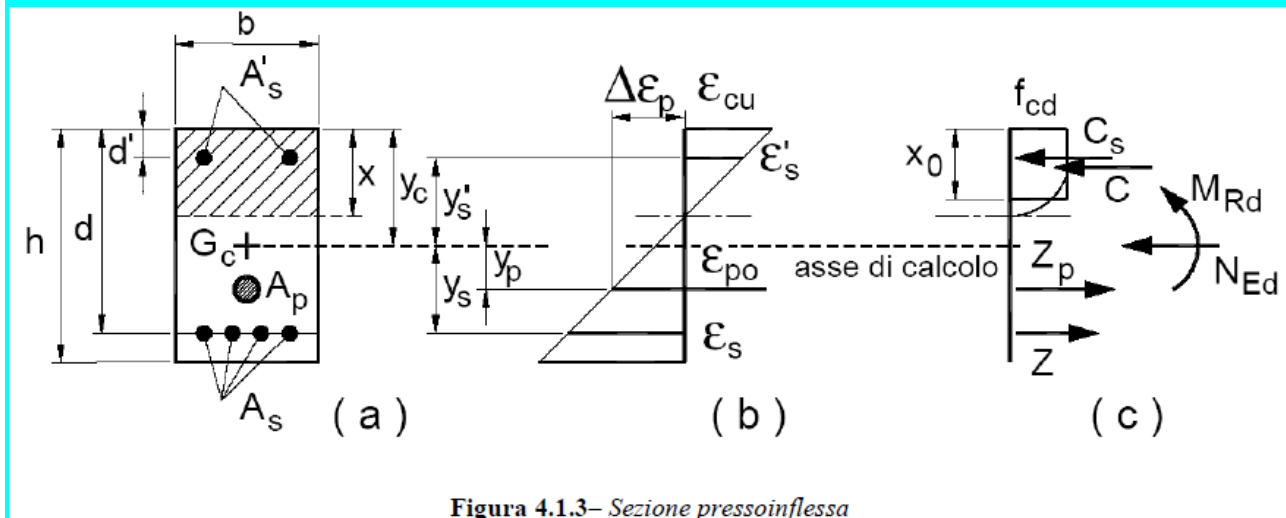


Figura 4.1.3– Sezione pressoinflessa

assieme ai diagrammi di deformazione e di sforzo così come dedotti dalle ipotesi e dai modelli  $\sigma - \epsilon$  di cui nei punti precedenti, la verifica di resistenza (SLU) si esegue controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad (4.1.9)$$

dove

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

Per una trattazione dettagliata sulla verifica a pressoflessione delle sezioni in c.a. e sulla costruzione del relativo dominio di rottura (N,M) si vedano gli appunti di tecnica delle costruzioni:

[LA TEORIA SEMIPROBABILISTICA ED IL CALCOLO AGLI STATI LIMITE DELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO.](#)

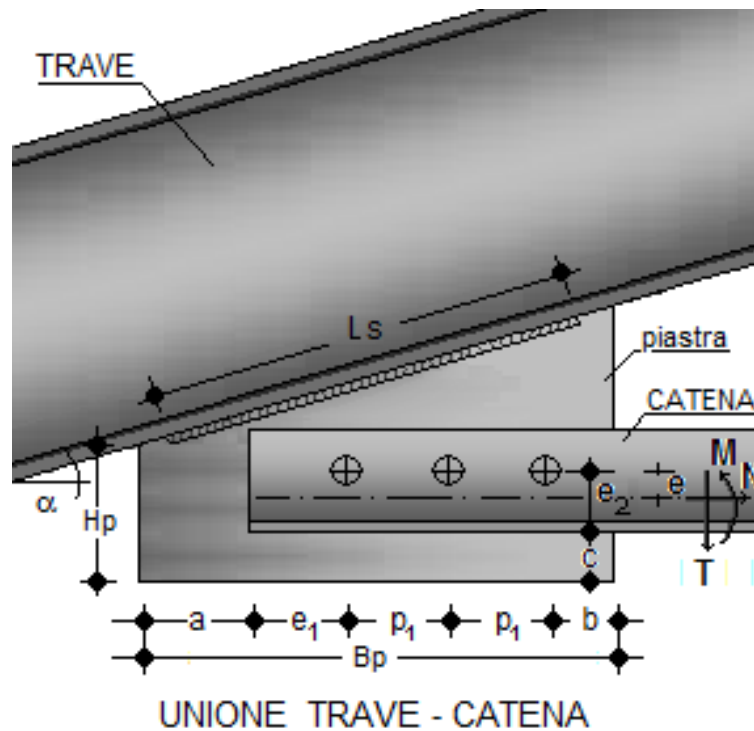
**11. ESEMPIO UNIONE COLONNA PLINTO – INCASTRO****CONFRONTO TRA METODO TENSIONI AMMISSIBILI E STATI LIMITE****Da completare**

<b>DATI PIASTRA</b>	
Base	B = 290,00 mm
Altezza	H = 380,00 mm
Spessore	t = 25,00 mm
Diametro Fori	d0 = 21,00 mm
Distanza X Bullone - Bordo Piastra	e1 = 50,00 mm
Interasse Bulloni	p1 = 190,00 mm
Distanza Y Bullone - Bordo Piastra	e2 = 50,00 mm
Interasse Bulloni	p2 = 280,00 mm
<b>DATI BULLONI / TIRAFONDI</b>	
Resistenza a Snervamento	fyb = 373,40 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a Rottura	ftb = 400,00 N/mm <sup>2</sup>
Diametro dei Bulloni	d = 20 mm
Area Resistente	Ares = 245 mm <sup>2</sup>
Lunghezza di Ancoraggio	L = 500 mm
<b>DATI CALCESTRUZZO</b>	
Classe	C25/30
Resistenza Car. Cubica	Rck = 30,00 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza Car. Cilindrica	fck = 24,90 N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza cls	γc = 1,50
Coeff. per effetti di Lungo Termine	αcc = 0,85
Valore Medio Resistenza compressione cls	fcm = 32,90 N/mm <sup>2</sup>
Valore Medio Resistenza trazione cls	fctm = 2,56 N/mm <sup>2</sup>
Modulo Elastico cls	Ec = 31447,16 N/mm <sup>2</sup>
Diagramma Calcolo Tensione-Deform. cls.:	Parabola Rettangolo (CEB)
Deformazione limite elasto-plastico cls	εc2 = 0,20%
Deformazione Ultima cls	εcu = 0,35%
Resistenza di Progetto a Compressione	fcd = 14,11 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di Progetto a Trazione	fctd = 1,19 N/mm <sup>2</sup>
<b>DATI ACCIAIO</b>	
Resistenza caratteristica di Snervamento	fyk = 240,00 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica di Rottura	ftk = 360,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>DATI COLONNA</b>		
Profilo (IPE: Profili IPE ad ali parallele )	= IPE 180	
Base profilo	B = 91,00 mm	
Altezza profilo	H = 180,00 mm	
<b>SOLLECITAZIONI</b>		
Sforzo Assiale	N = 25,38 kN	
Taglio	T = 54,12 kN	
Momento Flettente	M = 16,24 kNm	
<b>VERIFICA</b>		
	<b>TENSIONI AMMISSIBILI</b>	<b>STATI LIMITE</b>
<b>VERIFICA CALCESTRUZZO - PRESSOFLESSIONE</b>		
Asse neutro	9,28 cm = 92,80 mm	53,00 mm
Tensione armatura tesa	1684,92 kg/cm <sup>2</sup> = 168,5 N/cm <sup>2</sup>	298,64 N/mm <sup>2</sup>
Momento Resistente		48,86 kNm
<b>VERIFICA PIASTRA</b>		
Forza trazione singolo bullone	4263,00 kg = 42,63 kg	73,17 kN
Taglio Resistente	191400 kg = 1914 kN	956,75 kN
Momento Resistente	57399 kgcm = 5,73 kNm	6,90 kN
Taglio	8256,11 kg = 82,56 kN	146,33 kN
Momento	412,80 kgm = 4,13 kNm	7,32 kNm
<b>VERIFICA TAGLIO BULLONI</b>		
Resistenza Taglio bullone	25872 kg = 258,72 kN	47,04 kN
<b>VERIFICA ANCORAGGIO TIRAFONDI</b>		
Resistenza di Aderenza	5024 kg = 50,24 kN	84,35 kN

## 12. UNIONE TRAVE – CATENA

L'unione trave-catena utilizzata ad esempio per collegare la trave (puntone) di una capriata con la relativa catena, viene realizzata mediante un fazzoletto saldato alla trave a cui viene collegata la catena mediante dei bulloni.



La relativa verifica viene condotta sulla base delle sollecitazioni massime nella catena (soggetta prevalentemente a sforzo assiale).

### Verifica Bulloni

Detto  $H_1$  il taglio medio per bullone dovuto allo sforzo assiale, ed  $n$  il numero di bulloni, risulta:

$$H_1 = N/n$$

Nel caso in cui l'asse baricentrico della catena presenta una certa eccentricità rispetto l'asse del truschino, il taglio dovuto allo sforzo assiale si incrementa di una certa quantità che, detta  $h'$  la distanza tra i bulloni di estemità, è pari a:

$$H_2 = N \cdot e/h'$$

Si ha dunque:

$$H = (H_1^2 + H_2^2)^{(1/2)}$$

A questa componente orizzontale si somma una componente verticale dovuta al taglio:

$$V_1 = T/n$$

ed una componente verticale dovuta al momento flettente:

$$V_2 = M/h'$$

ossia:

$$V = V_1 + V_2$$

Lo sforzo di taglio cui è soggetto ciascun bullone è dunque:

$$R = (V^2 + H^2)^{(1/2)}$$

Indicato con  $n_s$  il numero di superfici di taglio ( $n_s=2$  nel caso di catena realizzata con profili accoppiati), l'azione di calcolo a taglio risulta:

$$F_{vEd} = R/n_s$$

Per verifica deve risultare:

$$F_{vEd} \leq F_{vRd}$$

Dove  $F_{vRd}$  è la Resistenza a Taglio dei bulloni.

## **Verifica a Rifollamento della lamiera**

La piastra (fazzoletto) è soggetta a rifollamento, , l'azione di calcolo a rifollamento risulta:

$$F_{vEd} = R$$

Per verifica deve risultare:

$$F_{vEd} \leq F_{bRd}$$

Dove  $F_{bRd}$  è la Resistenza a Rifollamento della Piastra.

## **Verifica Saldatura**

Ipotizzando che la saldatura della piastra alla trave sia effettuata a cordone d'angolo, detti:

- a lo spessore di gola;
- L la lunghezza del cordone;

Lo sforzo assiale e di taglio determinano sulla saldatura una Tensione tangenziale ortogonale all'asse del cordone d'angolo:

$$t_o = [N \cdot \sin(\alpha) + T \cdot \cos(\alpha)] / 2 \cdot a \cdot L$$



ed una Tensione tangenziale parallela all'asse del cordone d'angolo:

$$t_p = [N \cdot \cos(\alpha) + T \cdot \sin(\alpha)] / 2 \cdot a \cdot L$$

Determinati i Coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  in relazione al Tipo di Acciaio degli elementi collegati, la verifica si esegue controllando che risulti:

$$\begin{aligned} (t_o^2 + t_p^2)^{1/2} &\leq \beta_1 \cdot F_{yk} \\ |t_o| &\leq \beta_2 \cdot F_{yk} \end{aligned}$$

### Esempio di UNIONE TRAVE CATENA

#### DATI BULLONI

Classe della Vite	=	8.8
Dado	=	8
Resistenza a Snervamento Bulloni	$f_{yb}$ =	640,00 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a Rottura Bulloni	$f_{tb}$ =	800,00 N/mm <sup>2</sup>
Diametro dei Bulloni	$d$ =	16 mm
Area Resistente	$A_{res}$ =	157 mm <sup>2</sup>

#### DATI PIASTRA

Spessore	$t$ =	10,00 mm
Diametro Fori	$d_0$ =	17,00 mm

#### DATI ACCIAIO

Tipo di Acciaio	=	S235 t<40 UNI EN 10025-2
Resistenza caratteristica di Snervamento	$f_{yk}$ =	235,00 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica di Rottura	$f_{tk}$ =	360,00 N/mm <sup>2</sup>

#### DATI SALDATURA - Cordone Angolo

Lunghezza saldatura	$L_s$ =	200,00 mm
Spessore di Gola	$a$ =	5,00 mm
Angolo di inclinazione Saldatura	$\alpha_s$ =	16,00 °

#### RESISTENZE DI CALCOLO

Resistenza a taglio Bulloni		
$F_{vRd} = 0.5 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / 1.25$	=	60,29 kN
Resistenza a rifollamento Piastra		
$F_{bRd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / 1.25$	=	112,94 kN

#### DATI PROFILO

Profilo (2LV: Profili ad L ali disuguali a...)	=	2LV1
Altezza profilo	$H$ =	50,00 mm
Distanza X Bordo Piastra - Bordo Catena	$a$ =	50,00 mm
Distanza X Bordo Catena - 1° Bullone	$e_1$ =	50,00 mm
Interasse Bulloni	$p_1$ =	50,00 mm
Distanza n° Bullone - Bordo Piastra	$b$ =	30,00 mm
Distanza Y Bordo Piastra - Bordo Catena	$c$ =	30,00 mm
Distanza Y Bordo Catena - fila Bulloni	$e_2$ =	25,00 mm
Numero di Bulloni sulla fila	$n$ =	3
Distanza Bulloni di estremità	$h'$ =	100,00 mm
Numero sezioni di intaglio Bulloni	$n_T$ =	2,00
Angolo di inclinazione Profilo	$\alpha_p$ =	0,00 °
Angolo Asse Profilo - Asse Saldatura	$\alpha$ =	16,00 °

## SOLLECITAZIONI

Sforzo Assiale  
Taglio  
Momento Flettente

N = 20,00 kN  
T = 20,00 kN  
M = 2,00 kNm

**Nodo N.1 - Unione TRAVE CATENA**

**Dati Bulloni**  
Classe della Vite: 8.8 Dado= 8 Fyb= 640 Ftb= 800 \*  
Diametro Bulloni: mm. 16 Area Resistente:..... Ares=mm<sup>2</sup> 157 \*  
Numero Bulloni: N= 3

**Dati Piastra / Aste**  
Tipo di Acciaio N= 1 Sigla S235 t Fyk= 235,00 Ftk= 360,00 N/mm<sup>2</sup>  
Spessore: t=mm. 10 Foro Bulloni:..... do = 17 mm  
Profilo Catena N = 91 Sigla 2LV1 H= 50,00 e= 3 mm  
Inclinaz. Trave α°= 16 N. superfici di Taglio:..... Nt= 2

**Dati Saldatura (Cordone angolo)**  
Lunghezza Ls=mm. 200 Spessore di gola..... s=mm. 5

**Dati Unione**  
a= mm. 50 e1= mm. 50 p1= mm. 50 b= mm. 30  
Hp= mm. 100 c= mm. 30 e2= mm. 25 Bp= mm. 230

**Sollecitazioni**  
N = kN. 20 T = kN. 20 M= kN·m 2

Verifica Esci

## VERIFICA

Componente Orizzontale dovuta allo Sforzo Assiale

Taglio medio per bullone  $H1 = N/n = 6,67$  kN  
Taglio x eccentricità asse truschino  $H2 = Ne/h' = 0,60$  kN  
Risultante Componente orizzontale  $H = (H1^2 + H2^2)^{1/2} = 6,69$  kN

Componente Verticale dovuta a Sforzo di Taglio

Taglio medio per Bullone  $V1 = T/n = 6,67$  kN  
Componente Verticale dovuta a Momento Flettente  
Taglio medio per Bullone  $V2 = M/h' = 20,00$  kN  
Risultante Componente verticale  $V = V1 + V2 = 26,67$  kN

Risultante Taglio singolo Bullone  $R = (H^2 + V^2)^{1/2} = 27,49$  kN

**VERIFICA A TAGLIO**  $FvEd = R/2 = 13,75$  kN <  $FvRd = 60,29$  kN - VERIFICA

**VERIFICA A RIFOLLAMENTO**  $FvEd = R = 27,49$  kN <  $FbRd = 112,94$  kN - VERIFICA

## VERIFICA SALDATURA (a cordone d'angolo)

Tensione tangenziale ortogonale all'asse del cordone d'angolo:

$$t_o = [N \cdot \sin(\alpha) + T \cdot \cos(\alpha)] / 2 \cdot a \cdot L = 12,37 \text{ N/mm}^2$$

Tensione tangenziale parallela all'asse del cordone d'angolo:

$$t_p = [N \cdot \cos(\alpha) + T \cdot \sin(\alpha)] / 2 \cdot a \cdot L = 12,37 \text{ N/mm}^2$$

Coefficienti x Tipo di Acciaio elementi collegati:

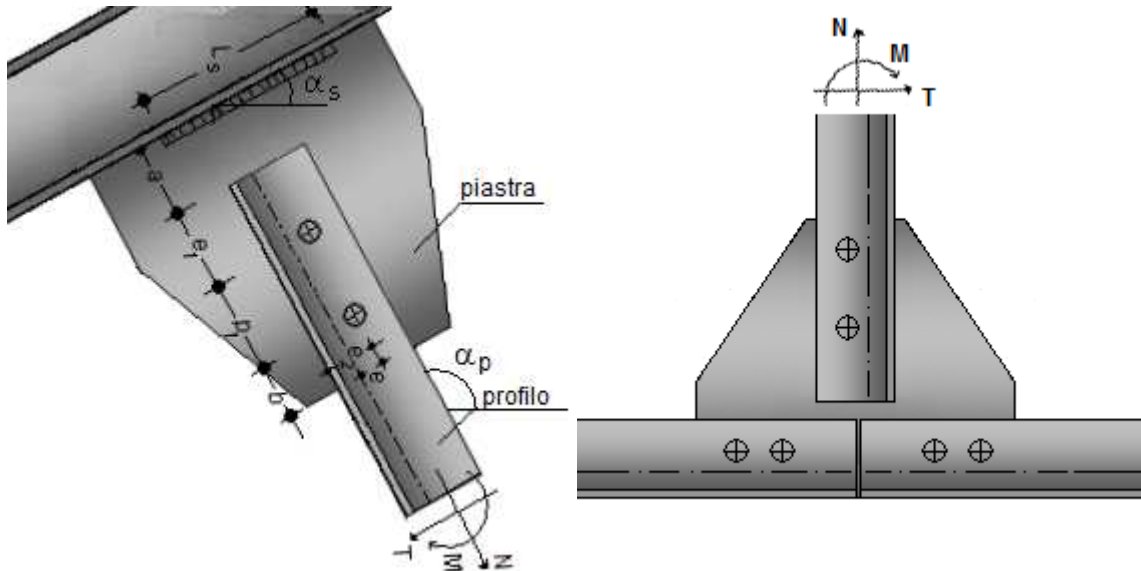
$$\beta_1 = 0,85; \quad \beta_2 = 1,00$$

$$(t_o^2 + t_p^2)^{1/2} = 17,49 \text{ N/mm}^2 < \beta_1 \cdot Fyk = 199,75 \text{ N/mm}^2 - \text{VERIFICA}$$

$$|t_o| = 12,37 \text{ N/mm}^2 < \beta_2 \cdot Fyk = 235,00 \text{ N/mm}^2 - \text{VERIFICA}$$

### 13. PIASTRA DI NODO CON PROFILO SINGOLO

Sovente l'unione tra un profilo ed altri profili viene realizzata mediante una piastra (fazzoletto) a cui i singoli profili vengono bullonati, il fazzoletto può essere o meno saldato ad uno dei profili.



La verifica della bullonatura del singolo profilo viene condotta sulla base delle sollecitazioni massime che lo stesso trasmette all'unione.

#### Verifica Bulloni

Detto  $H_1$  il taglio medio per bullone dovuto allo sforzo assiale, ed  $n$  il numero di bulloni, risulta:

$$H_1 = N/n$$

Nel caso in cui l'asse baricentrico della catena presenta una certa eccentricità rispetto l'asse del truschino, il taglio dovuto allo sforzo assiale si incrementa di una certa quantità che, detta  $h'$  la distanza tra i bulloni di estermità, è pari a:

$$H_2 = N \cdot e/h'$$

Si ha dunque:

$$H = (H_1^2 + H_2^2)^{(1/2)}$$

A questa componente orizzontale si somma una componente verticale dovuta al taglio:

$$V1 = T/n$$

ed una componente verticale dovuta al momento flettente:

$$V2 = M/h'$$

ossia:

$$V = V1 + V2$$

Lo sforzo di taglio cui è soggetto ciascun bullone è dunque:

$$R = (V^2 + H^2)^{(1/2)}$$

Indicato con  $n_s$  il numero di superfici di taglio ( $n_s=2$  nel caso di catena realizzata con profili accoppiati), l'azione di calcolo a taglio risulta:

$$F_{vEd} = R/n_s$$

Per verifica deve risultare:

$$F_{vEd} \leq F_{vRd}$$

Dove  $F_{vRd}$  è la Resistenza a Taglio dei bulloni.

### **Verifica a Rifollamento della lamiera**

La piastra (fazzoletto) è soggetta a rifollamento, , l'azione di calcolo a rifollamento risulta:

$$F_{vEd} = R$$

Per verifica deve risultare:

$$F_{vEd} \leq F_{bRd}$$

Dove  $F_{bRd}$  è la Resistenza a Rifollamento della Piastra.

### **Verifica Saldatura**

Ipotizzando che la saldatura della piastra alla trave sia effettuata a cordone d'angolo, detti:

- a lo spessore di gola;
- L la lunghezza del cordone;

Lo sforzo assiale e di taglio determinano sulla saldatura una Tensione tangenziale ortogonale all'asse del cordone d'angolo:

$$t_o = [N \cdot \sin(\alpha) + T \cdot \cos(\alpha)] / 2 \cdot a \cdot L$$

ed una Tensione tangenziale parallela all'asse del cordone d'angolo:

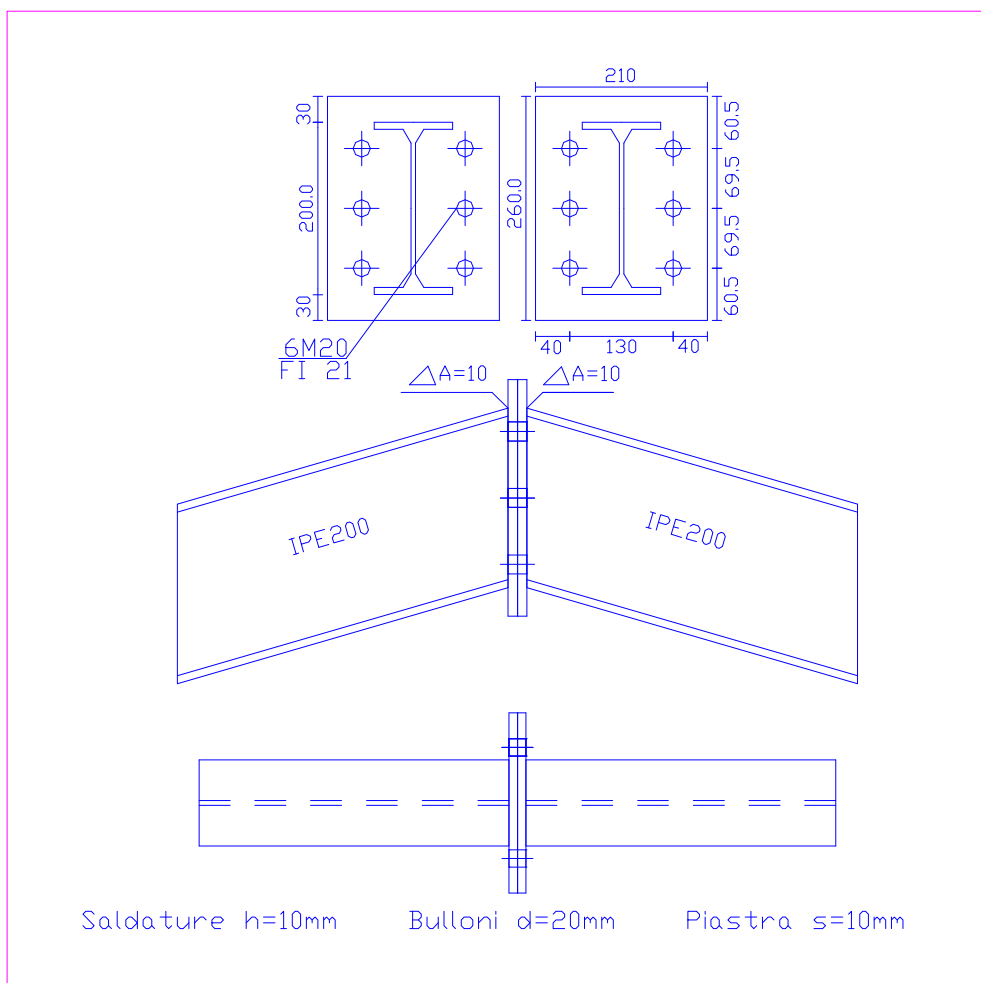
$$t_p = [N \cdot \cos(\alpha) + T \cdot \sin(\alpha)] / 2 \cdot a \cdot L$$

Determinati i Coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  in relazione al Tipo di Acciaio degli elementi collegati, la verifica si esegue controllando che risulti:

$$\begin{aligned} (t_o^2 + t_p^2)^{1/2} &\leq \beta_1 \cdot F_{yk} \\ |t_o| &\leq \beta_2 \cdot F_{yk} \end{aligned}$$

## 14. UNIONE TRAVE – TRAVE CON FLANGIA

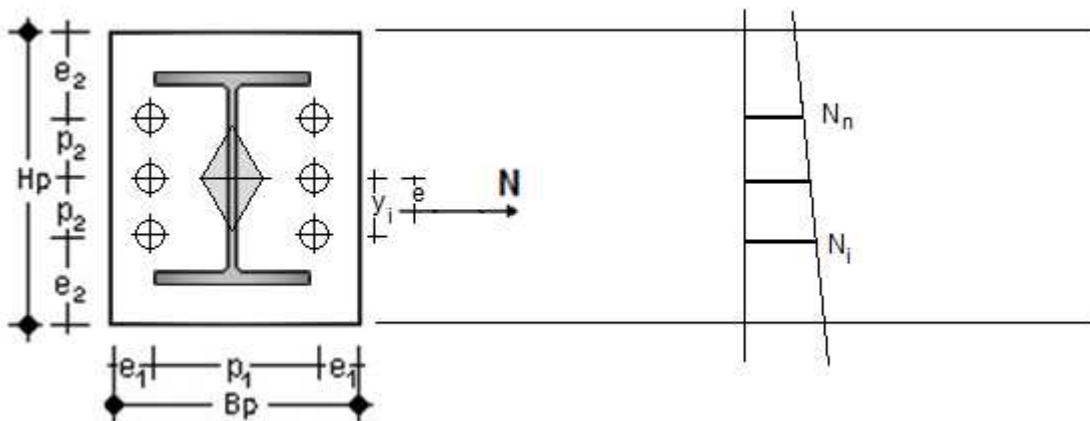
Il collegamento tra due travi realizzato tramite delle piastre (flange) tra loro bullonate, è utilizzato quando l'unione deve trasmettere prevalentemente sforzi assiali e momento flettente.



A seconda del valore delle sollecitazioni si distingue il caso di unione soggetta a prevalente sforzo assiale dal caso di unione soggetta a flessione semplice e/o pressoflessione.

### 14.1. Unione soggetta a Sforzo Assiale interno al Nocciolo d'inerzia

Nel caso di unione soggetta a sforzo assiale di trazione, interno al nocciolo centrale d'inerzia della sezione formata dai soli bulloni,



Lo sforzo  $N_i$  agente sul generico bullone, nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, è dato da

$$N_i = \frac{N}{n} + \frac{N \cdot e}{\sum_{i=1}^n y_i^2} y_i$$

Ove:

- e è l'eccentricità della forza applicata rispetto al baricentro dei bulloni
- $y_i$  la distanza del bullone  $i$ -esimo dall'asse baricentrico normale all'asse di sollecitazione

Indicata con  $F_{tEd}$  la massima azione di calcolo a trazione:

$$F_{tEd} = N_{i, \max}$$

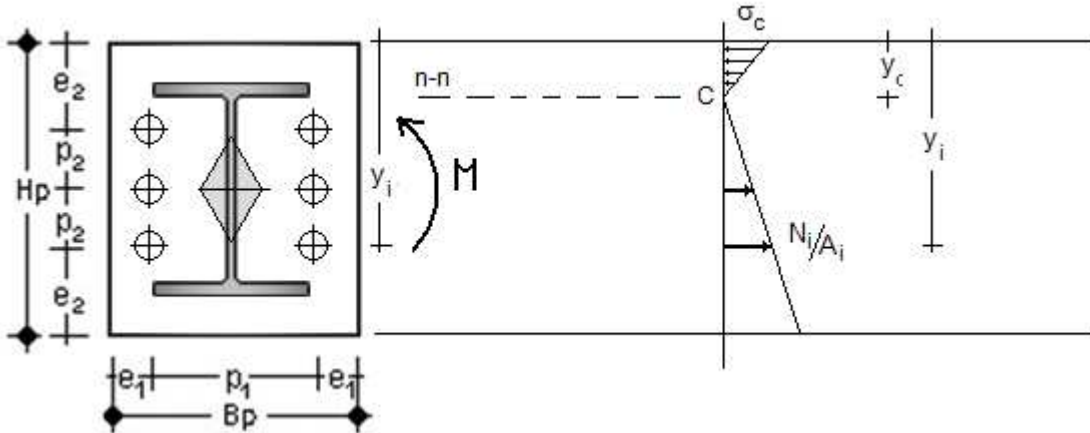
Per verifica deve risultare:

$$F_{tEd} \leq F_{tRd}$$

Dove  $F_{tRd}$  è la Resistenza a Trazione dei bulloni.

## 14.2. Unione soggetta a Flessione Semplice

Nel caso di unione soggetta a flessione semplice,



Data la linearità del diagramma delle tensioni, i singoli sforzi di trazione sono proporzionali tra loro, e può scriversi:

$$\frac{N_i}{A_i} = k \cdot (y_i - y_c)$$

Analogamente:

$$\sigma_c = k \cdot y_c$$

essendo:

$y_i$  la distanza del bullone  $i$ -esimo dal bordo compresso della flangia;

$y_c$  la distanza dell'asse neutro dal bordo compresso della flangia;

Per l'equilibrio alla traslazione orizzontale, risulta:

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y_c^2 - \sum_{i=1}^n A_i \cdot (y_i - y_c) = 0$$

La quale è un'equazione di secondo grado nell'unica incognita  $y_c$ .

Determinato  $y_c$ , osserviamo che essendo  $\sigma_c = \frac{M}{J} \cdot y_c$ , si ottiene:

$$N_i = \frac{M}{J} \cdot A_i \cdot (y_i - y_c)$$

Dove  $J$  è il momento d'inerzia della sezione reagente:

$$J = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y_c^3 + \sum_{i=1}^n A_i \cdot (y_i - y_c)^2$$

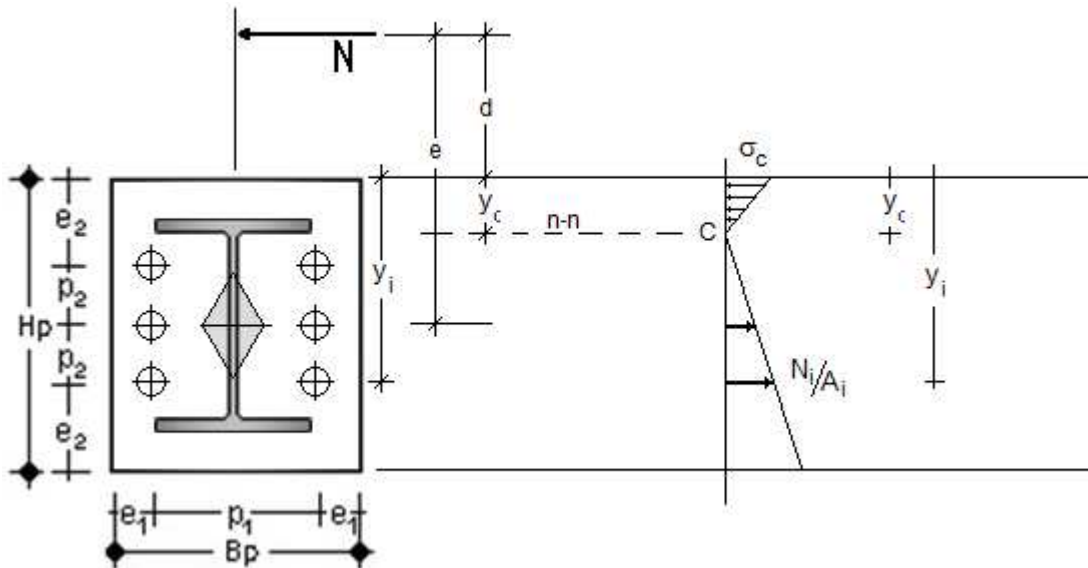
Verifica:

$$F_{tEd} = N_{i,max} \leq F_{tRd}$$



### 14.3. Unione soggetta a Presso/Tenso Flessione

Nel caso di unione soggetta a Pressoflessione (Tensoflessione),



detta  $d$  l'eccentricità della forza assiale rispetto al lembo superiore:

$$d = e - H/2$$

con ( $e > 0$  se  $N$  di Trazione,  $e < 0$  se  $N$  di Compressione)

Per l'equilibrio alla rotazione attorno al lembo superiore, risulta:

$$\frac{1}{6} \cdot b \cdot y_c^3 + \frac{1}{2} \cdot b \cdot y_c^2 \cdot d - \sum_{i=1}^n A_i \cdot (y_i - y_c) \cdot (d + y_i) = 0 \quad (1)$$

La quale è un'equazione di 3° grado nell'unica incognita  $y_c$ .

Per l'equilibrio alla traslazione orizzontale, risulta:

$$N + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \sigma_c \cdot y_c - \frac{\sigma_c}{y_c} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot (y_i - y_c) = 0$$

Da cui:

$$\sigma_c = \frac{N \cdot y_c}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot (y_i - y_c) - \frac{1}{2} b y_c^2}$$

E quindi:

$$N_i = \frac{\sigma_c}{y_c} \cdot A_i \cdot (y_i - y_c)$$

Verifica:

$$F_{tEd} = N_{i,max} \leq F_{tRd}$$