

10 – Unioni bullonate e saldate

Verifica delle unioni

Fattori parziali di sicurezza

Per il calcolo della resistenza delle viti, delle saldature, delle piastre collegate e della forza di precarico dei bulloni si adottano i fattori parziali di sicurezza indicati nella tabella seguente:

Resistenza	Coefficienti di sicurezza
Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2} = 1.25$
Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo	$\gamma_{M2} = 1.25$
Resistenza dei piatti a contatto	$\gamma_{M2} = 1.25$
Resistenza a scorrimento (o slittamento) Per SLU Per SLE	$\gamma_{M3} = 1.25$ $\gamma_{M3} = 1.10$
Precarico di bulloni ad alta resistenza	$\gamma_{M7} = 1.10$

Area resistente

Per tener conto della riduzione della sezione del gambo per effetto della filettatura, la normativa (UNI-EN 20898-1) definisce per ciascun diametro d un valore dell'**area resistente**, A_{res} , minore dell'area nominale A . In prima approssimazione si può assumere

$$A_{res} = 0,75 \cdot A = 0,75 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Si osserva che nel caso delle verifiche a trazione si deve sempre considerare l'area resistente A_{res} . Nel caso delle verifiche a taglio si considera l'area resistente A_{res} solo quando il piano su cui agisce il taglio interessa la parte filettata della vite, altrimenti si considera l'area totale A .

Unioni ad attrito

Il serraggio dei bulloni genera nel gambo uno sforzo di trazione, che può essere misurato indirettamente in funzione del momento torcente applicato con una chiave dinamometrica.



Infatti, l'azione assiale nel gambo F_p , detta *forza di precarico*, è legata alla coppia di serraggio attraverso la relazione

$$M_s = k \cdot d \cdot F_p$$

in cui k , che varia da 0,10 a 0,16, rappresenta la costante di rendimento della coppia.

In funzione dell'entità della forza di precarico, le unioni possono essere definite *precaricate* o *non precaricate*. Le unioni precaricate sono utilizzate nei collegamenti progettati *ad attrito*. In questo caso, la forza di precarico di calcolo deve essere pari a

$$F_{pd} = 0,7 \cdot \frac{f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M7}}$$

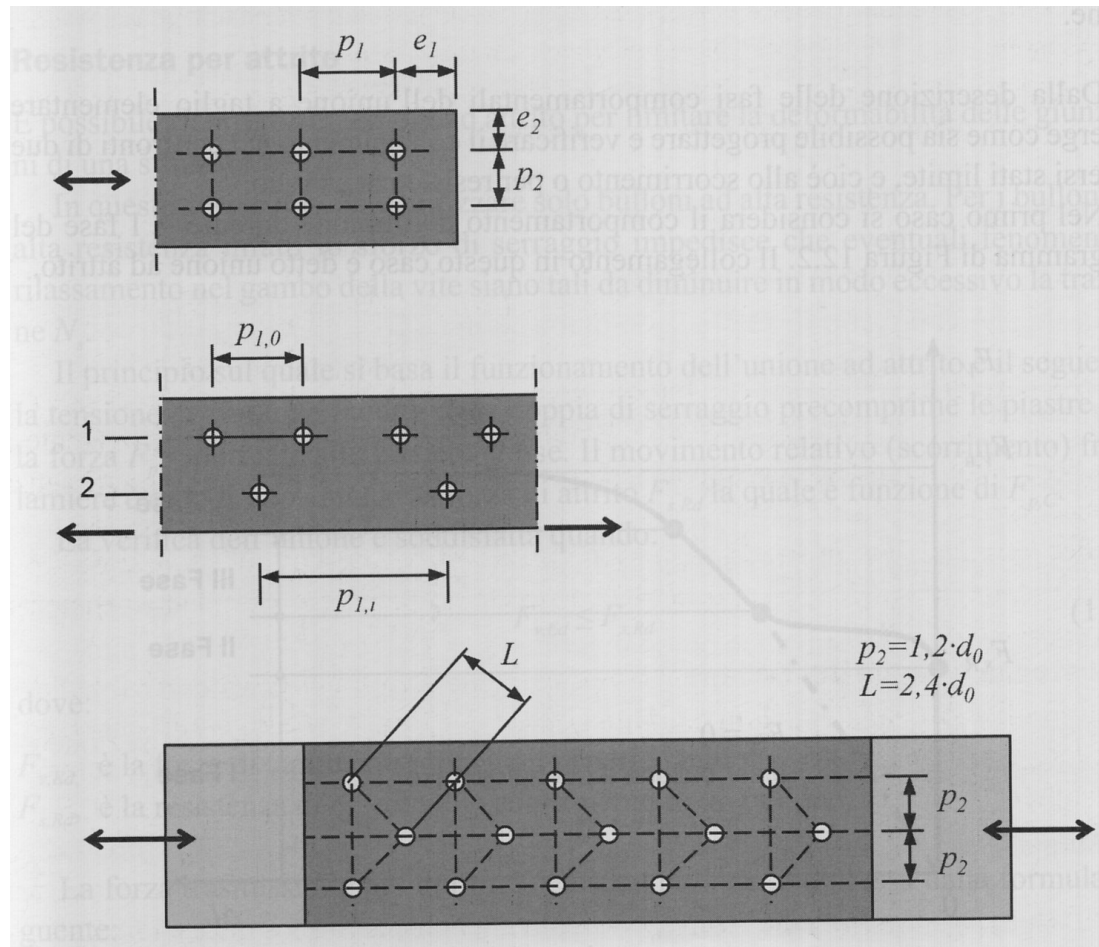
in cui f_{tb} è la resistenza caratteristica a rottura della vite e $\gamma_{M7} = 1,10$.

Per le unioni non precaricate, possono essere utilizzate viti di classe da 4.6 a 10.9, mentre per quelle precaricate devono essere impiegate viti ad alta resistenza di classe da 8.8 a 10.9.

Anche nel caso di unioni non precaricate, i bulloni devono essere serrati in modo da raggiungere uno stretto contatto delle parti da unire.

Posizione dei fori

Per le unioni bullonate, le posizioni dei fori in termini di distanza dai margini (e) e di passo (p),

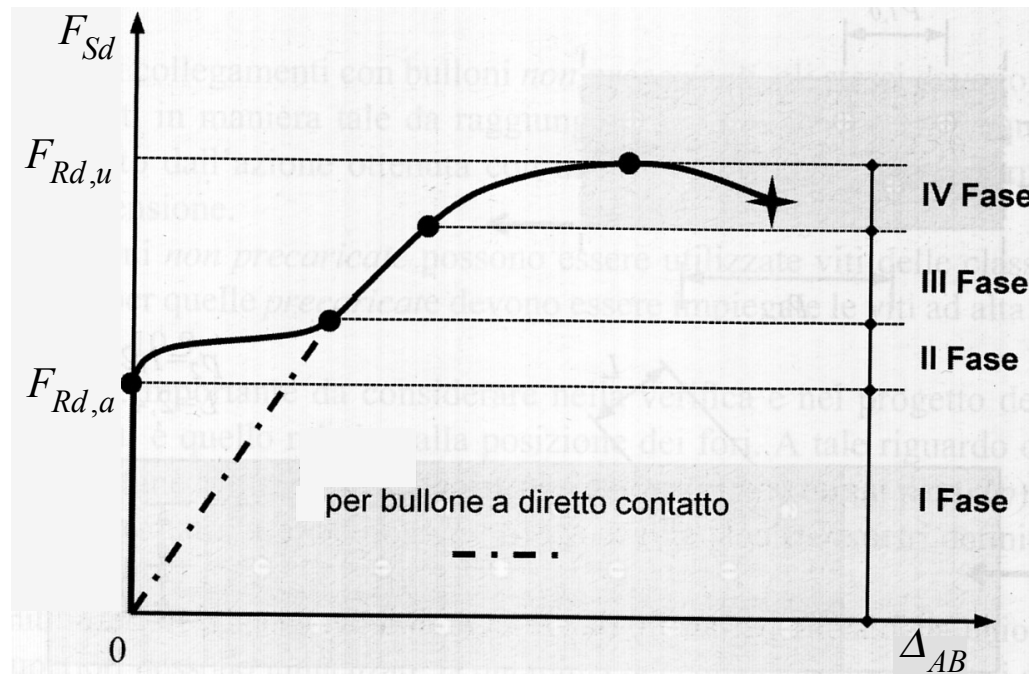
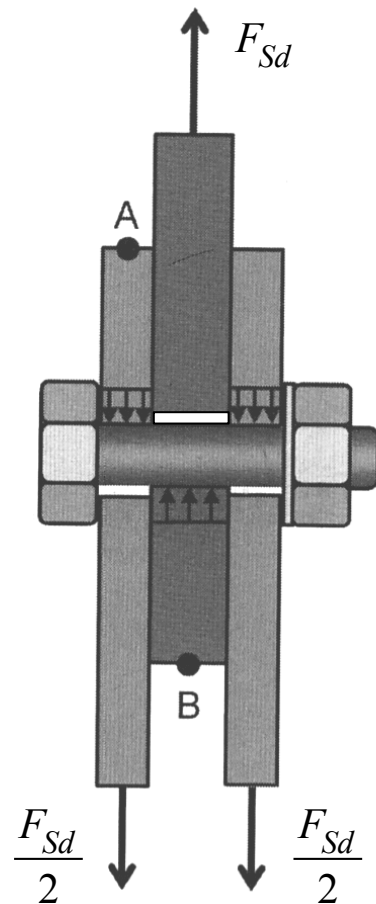


devono sottostare alle limitazioni riportate nella tabella ...

Distanze e interassi	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 (EN 10025-5)
e_1	$1.2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	–	max ($8t$; 125 mm)
e_2	$1.2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	–	max ($8t$; 125 mm)
p_1	$2.2 d_0$	min ($14t$; 200 mm)	min ($14t$; 200 mm)	min ($14t$; 175 mm)
$p_{1,0}$	–	min ($14t$; 200 mm)	–	–
$p_{1,i}$	–	min ($28t$; 200 mm)	–	–
p_2	$2.4 d_0$	min ($14t$; 200 mm)	min ($14t$; 200 mm)	min ($14t$; 175 mm)

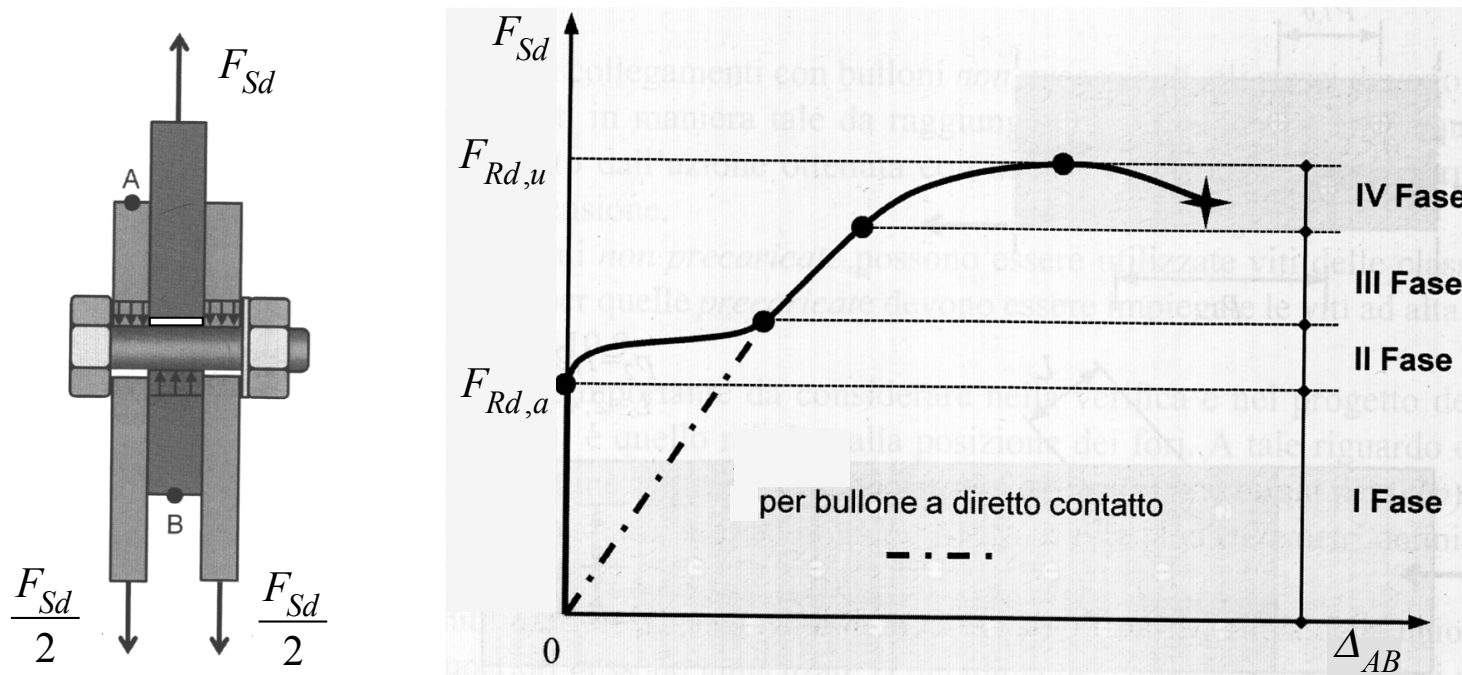
in cui d_0 è il diametro dei fori e t è lo spessore minimo degli elementi da collegare. Si osserva che i limiti inferiori influenzano la resistenza e il montaggio delle unioni, mentre quelli superiori possono influire sulla durabilità del collegamento.

Si consideri l'unione indicata in figura. La lamiera centrale è sollecitata dalla forza F_{Sd} ed è collegata mediante un bullone alle due lamiere esterne che, per equilibrio, sono sollecitate ciascuna con una forza $F_{Sd}/2$. La risposta del collegamento può essere descritta dal diagramma che mette in relazione la forza applicata F_{Sd} con la variazione della distanza tra i punti A e B, Δ_{AB} .



La risposta può essere suddivisa in quattro fasi.

I Fase: la trasmissione della forza avviene per l'attrito tra le lamiere indotto dalla forza di serraggio (o di precarico), mentre la variazione della distanza tra i punti A e B risulta nulla; questa fase termina quando la forza F_{Sd} raggiunge la forza resistente di attrito $F_{Rd,a}$.



II Fase: si manifesta uno slittamento tra le lamiere collegate pari al gioco del bullone, con F_{Sd} che si mantiene quasi costante; questa fase termina quando le lamiere vengono a contatto con il gambo del bullone.

III Fase: lo slittamento è proporzionale al carico applicato e l'unione è sollecitata in campo elastico; questa fase termina quando o nel bullone o nelle lamiere viene raggiunto il limite elastico.

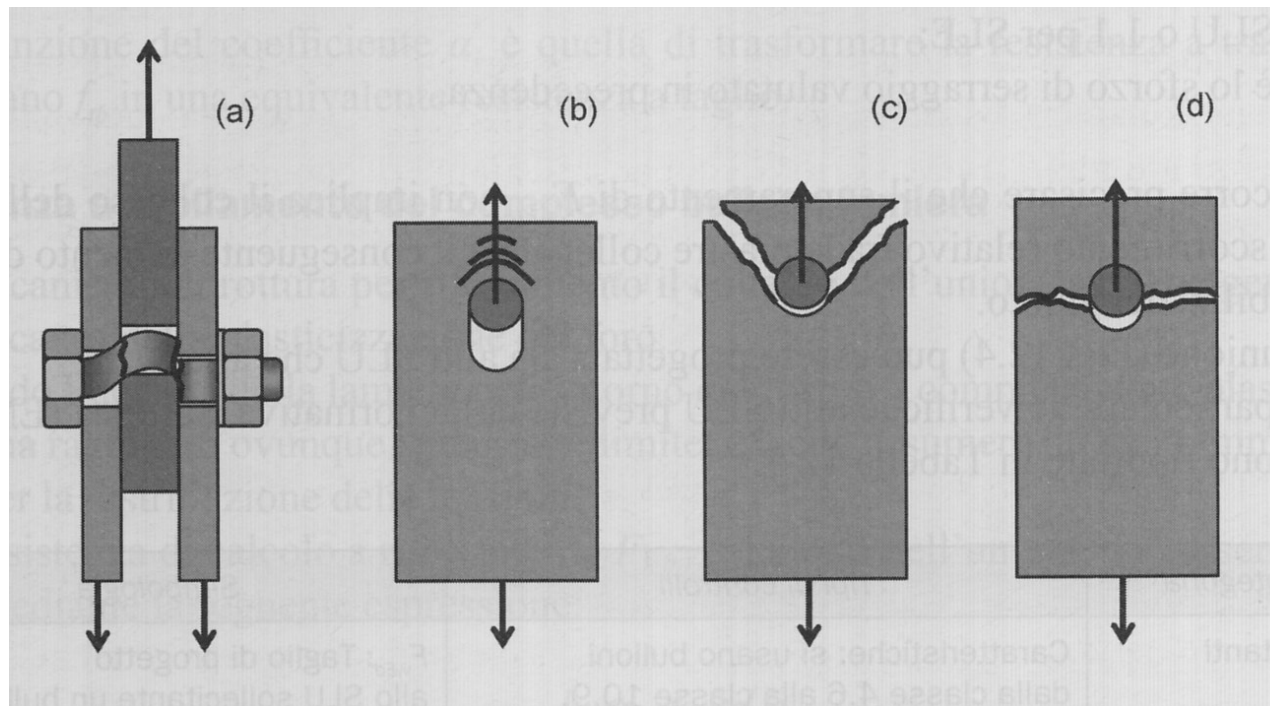
IV Fase: si manifestano grandi slittamenti per piccoli incrementi di carico; l'unione è sollecitata in campo elasto-plastico; questa fase termina quando la giunzione perviene al collasso.

L'esame della fasi comportamentali dell'unione suggerisce che il progetto e la verifica del collegamento devono essere eseguiti nei confronti o dello *stato limite di slittamento*, o dello *stato limite di resistenza*.

Per la verifica allo stato limite di slittamento si considera la prima fase della risposta e il collegamento è detto *unione ad attrito*.

Per la verifica allo stato limite di resistenza si considera la quarta fase della risposta e il collegamento è detto *unione a taglio*. I possibili meccanismi di rottura delle unioni a taglio sono:

- a) rottura a taglio del bullone;
- b) rottura per rifollamento della lamiera;
- c) rottura a taglio della lamiera;
- d) rottura a trazione della lamiera.



Unioni ad attrito

Le unioni ad attrito si utilizzano per limitare la deformabilità dei collegamenti di una struttura. Il principio di funzionamento è il seguente: per effetto dello sforzo di precarico nei bulloni, indotto dalla coppia di serraggio, le lamiere vengono compresse trasversalmente; sulle superfici di contatto nasce quindi una forza resistente d'attrito, $F_{Rd,a}$, che si oppone al movimento relativo delle lamiere.

Per unioni di questo tipo è possibile utilizzare solo bulloni ad alta resistenza, il cui acciaio non presenta il fenomeno del rilassamento. Quest'ultimo, infatti, potrebbe far diminuire nel tempo lo sforzo di precarico, riducendo così l'efficacia del collegamento.

La verifica dell'unione è soddisfatta quando:

$$F_{Sd} \leq F_{Rd,a}$$

La forza che ciascun bullone può trasmettere per attrito è data dalla relazione

$$F_{Rdb,a} = \frac{n \cdot \mu \cdot F_{pd}}{\gamma_{M3}}$$

dove n è il numero delle superfici delle lamiere a contatto (di solito pari a due);

μ è il coefficiente d'attrito, pari a 0,30 per superfici non trattate o per giunzioni realizzate in opera, pari a 0,45 per superfici trattate;

F_{pd} è la forza di serraggio di calcolo;

γ_{M3} è il coefficiente di sicurezza parziale pari a 1,25 per gli SLU e a 1,1 per gli SLE.

È utile precisare che il superamento di $F_{Rd,a}$ non corrisponde al collasso del collegamento, ma solo allo slittamento relativo tra le piastre collegate, con il conseguente aumento della deformabilità del giunto.

Unioni a taglio

La resistenza di calcolo dei bulloni, per ogni piano di taglio che interessa il gambo, può essere assunta pari a:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad \text{quando il piano di taglio riguarda la parte non filettata del gambo;}$$

$$F_{Rd,v} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} \quad \text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 e 8.8, quando il piano di taglio riguarda la parte filettata del gambo;}$$

$$F_{Rd,v} = \frac{0,5 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} \quad \text{per bulloni di classe 6.8 e 10.9, quando il piano di taglio riguarda la parte filettata del gambo.}$$

in cui f_{tb} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale che costituisce il bullone e $\gamma_{M2} = 1,25$. Tali valori vanno moltiplicati per il numero di piani di taglio che interessano il gambo.

Nel meccanismo di rottura per rifollamento, il collasso dell'unione avviene a causa della plasticizzazione del foro di una delle lamiere collegate. Quando l'acciaio nell'intorno del foro si è completamente plasticizzato, si assume che la distribuzione delle tensioni sia costante e pari al valore caratteristico a rottura f_{tk} .

La resistenza di calcolo a rifollamento della lamiera può essere calcolata mediante la relazione:

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

dove:

d è il diametro del gambo del bullone;

t è lo spessore della lamiera collegata;

α e k sono due coefficienti che tengono conto degli effetti della redistribuzione plastica degli sforzi nella lamiera e sono funzione delle distanze e degli interassi dei fori secondo le relazioni:

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

per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato

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

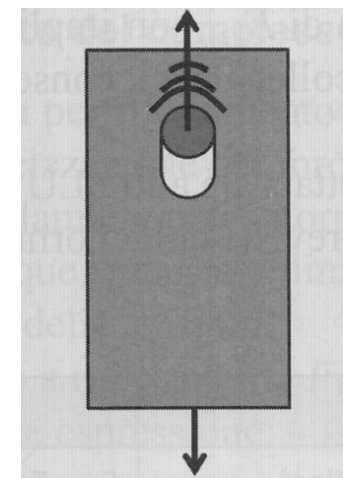
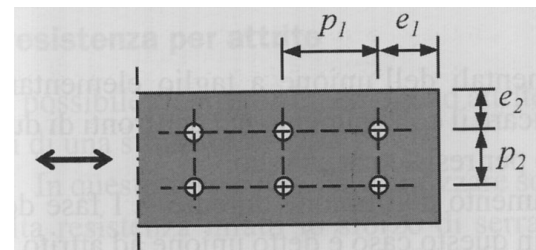
per bulloni interni nella direzione del carico applicato

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

per bulloni di bordo nella direzione ortogonale al carico

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

per bulloni interni nella direzione ortogonale al carico



Si osserva che il coefficiente k è funzione solo dei parametri di posizione in direzione ortogonale alla forza di taglio, e tiene conto che, a causa della diffusione dei flussi tensionali, la plasticizzazione riguarda una porzione di lamiera maggiore dell'area di contatto. Tale coefficiente è generalmente amplificativo (cioè maggiore di uno), anche se non può eccedere il valore 2,5.

Il coefficiente α , invece, è funzione dei parametri di posizione in direzione parallela alla forza di taglio e dei parametri meccanici f_{tb} (resistenza caratteristica di rottura del bullone) e f_{tk} (resistenza caratteristica di rottura della lamiera). Tale coefficiente riduce la resistenza a rifollamento quando la distanza dal margine e_1 e il passo p_1 nella direzione parallela alla forza di taglio siano inferiori a certi valori limite. La resistenza è anche ridotta quando si utilizzano bulloni o chiodi la cui resistenza a rottura sia inferiore a quella delle lamiere collegate.

La resistenza del collegamento è la minore tra quella del bullone e quella della lamiera, cioè

$$F_{Rd,c} = \min(F_{Rd,v}; F_{Rd,b})$$

La verifica è soddisfatta se risulta

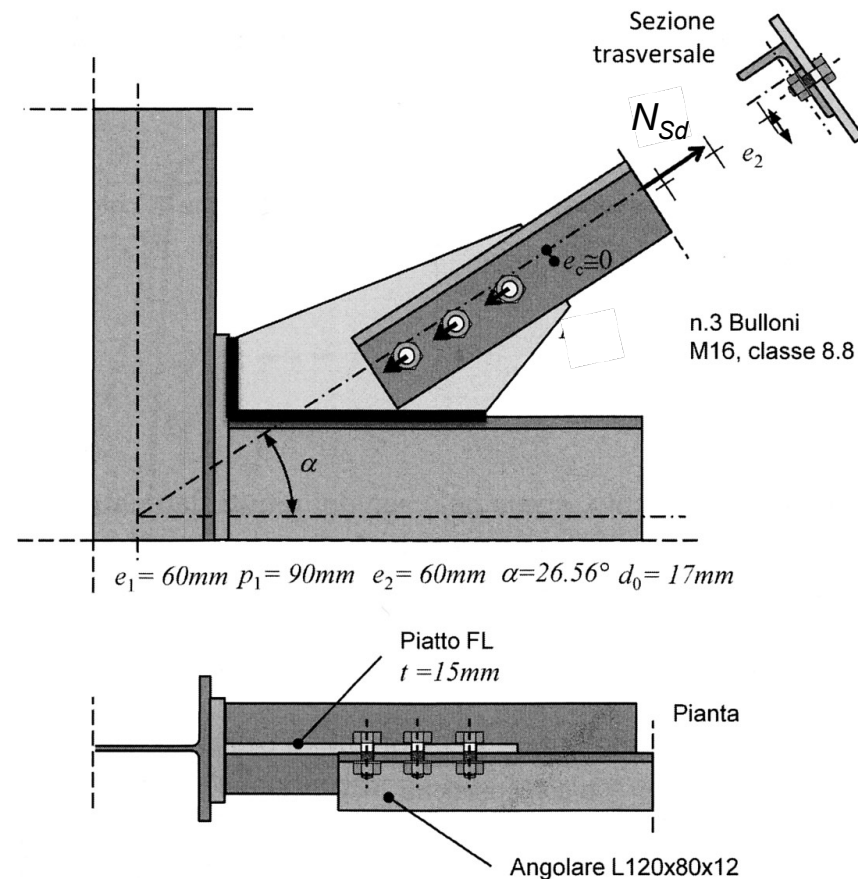
$$F_{Rd,c} \geq F_{Sd} / n_b$$

dove n_b è il numero di bulloni che costituisce il collegamento.

Verificare allo SLU il collegamento bullonato (Fig. 12.5) posto all'estremità di una diagonale di controvento soggetta ad uno sforzo di trazione $N_{Sd}=200\text{kN}$. L'asta, realizzata con un angolare L 120x80x12 in acciaio S275, è collegata ad una piastra di attesa dello spessore di 15 mm attraverso una singola fila di tre bulloni M16 classe 8.8 disposti lungo l'asse di truschino ad un passo di 90 mm e ad una distanza dai margini di 60 mm. Si trascuri, ai fini del calcolo degli sforzi di taglio nei bulloni l'eccentricità tra asse baricentrico ed asse di truschino.

Dati

- $N_{Sd} = 200\text{kN}$
- $t = 120\text{ mm}$ (spessore angolare)
- $t_p = 15\text{ mm}$ (spessore piastra)
- $d_0 = 17\text{ mm}$ (diametro foro)
- $d = 16\text{ mm}$ (diametro bulloni)
- $e_1 = 60\text{ mm}$
- $e_2 = 60\text{ mm}$
- $p_1 = 90\text{ mm}$
- $f_{yk} = 275\text{ N/mm}^2$
- $f_{tk} = 430\text{ N/mm}^2$ per $t < 40\text{ mm}$
- $f_{yb} = 640\text{ N/mm}^2$
- $f_{tb} = 800\text{ N/mm}^2$



Svolgimento

1) Valutazione delle sollecitazioni agenti sull'unione elementare

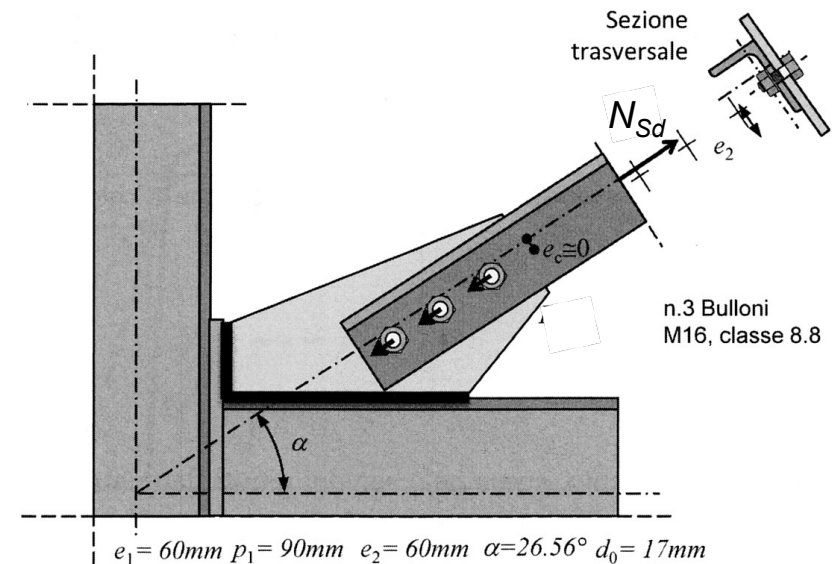
Le sollecitazioni agenti nella sezione di scorrimento del singolo bullone sono pari a:

$$F_{Sd,v} = \frac{N_{Sd}}{n_{1b} \cdot n_s} = \frac{200}{3 \cdot 1} = 66,7 \text{ kN}$$

in cui

$n_{1b}=3$ è numero bulloni in direzione dello sforzo normale N_{Sd}

$n_s=1$ è il numero delle sezioni di scorrimento



2) Resistenza di progetto dell'unione elementare

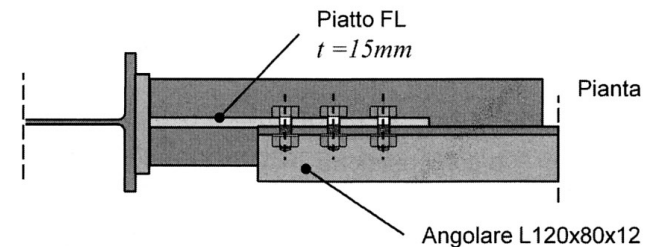
La resistenza a taglio è pari a:

$$F_{Rd,v} = \frac{\alpha_v \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot 201}{1.25} = 77.2 \text{ kN}$$

dove:

$\alpha_v = 0,60$ è il coefficiente di taglio per bulloni di qualsiasi grado aventi piano di scorrimento esterno alla zona filettata del gambo.

$\gamma_{M2} = 1,25$ è il coefficiente di sicurezza parziale per rottura localizzata.



La resistenza a rifollamento è pari a:

$$F_{Rd,b} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 1 \cdot 430 \cdot 16 \cdot 12}{1.25} = 165.1 \text{ kN}$$

dove:

$$k = \min \left[2.5; 2.8 \cdot \left(\frac{e_2}{d_0} \right) - 1.7 \right] = 2.5 \text{ è il coefficiente di rifollamento per bulloni di bordo}$$

$$\alpha_{int} = \min \left[\left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} \right) - 1.4; \frac{f_{tb}}{f_{yk}}; 1 \right] \text{ è il coefficiente correttivo per bulloni interni}$$

$$\alpha_{est} = \min \left[\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0} \right) - 1.4; \frac{f_{tb}}{f_{yk}}; 1 \right] \text{ è il coefficiente correttivo per bulloni esterni}$$

$$\alpha = \min(\alpha_{int}; \alpha_{est}) = 1 \text{ è il coefficiente correttivo minimo}$$

Dunque la resistenza dell'unione elementare sollecitata a taglio è pari a:

$$F_{Rd,c} = \min(F_{Rd,v}; F_{Rd,b}) = F_{Rd,v} = 77.2 \text{ kN}$$

Ciò significa che l'unione collassa per rottura del bullone.

3) Verifica di resistenza allo SLU

La verifica di sicurezza risulta soddisfatta essendo la sollecitazione di calcolo inferiore alla resistenza di progetto, ovvero:

$$F_{Sd,v} = 66.7 \text{ kN} < F_{Rd,v} = 77.2 \text{ kN}$$

Nel caso di giunti flangiati, il bullone è sollecitato a trazione. Si consideri la seguente semplice unione e si analizzino le diverse fasi del suo comportamento al crescere della forza esterna F .

Quando $F = 0$, il bullone è allungato della quantità ΔL_S per effetto della forza di serraggio F_p , e le lamiere collegate sono compresse della stessa quantità.

Al crescere della forza esterna F , lo sforzo nel bullone aumenta della quantità X e risulta pari a $F_p + X$, mentre lo sforzo di compressione delle lamiere diminuisce della quantità Y e risulta pari a $F_p - Y$.

Per l'equilibrio dell'insieme bullone-lamiere deve essere:

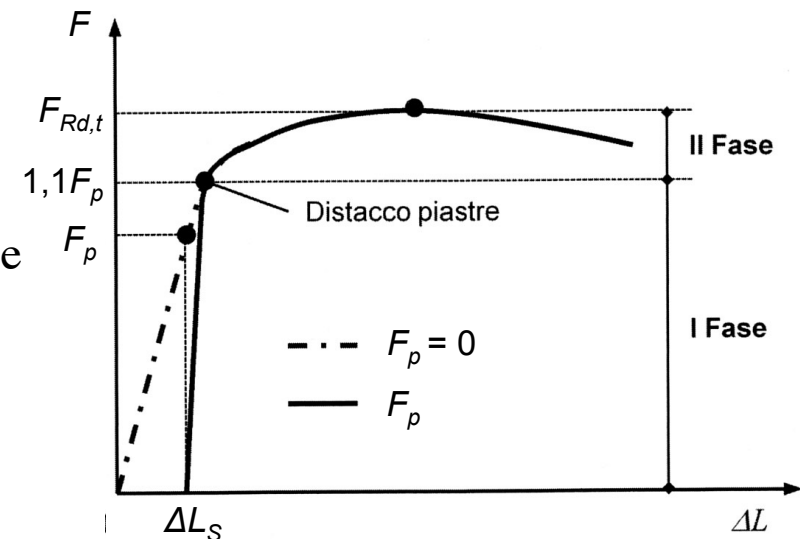
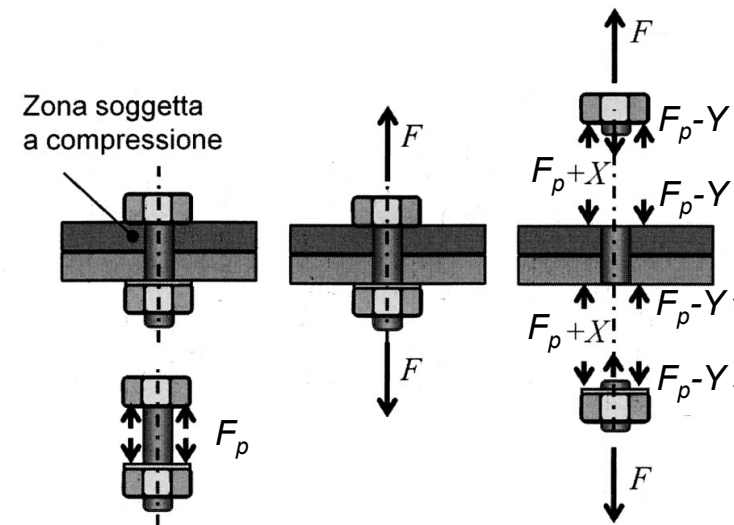
$$X + Y = F$$

Poiché le lamiere sono più rigide del bullone, risulta $X \ll Y$. Si può dimostrare, infatti, che

$$X \approx F / 11 \quad Y = 10F / 11$$

Ciò implica che, durante la fase di decompressione delle lamiere, l'allungamento del bullone è molto piccolo.

Quando la forza esterna raggiunge il valore $1,1F_p$, risulta $Y = F_p$ e le lamiere sono completamente distaccate.



All'aumentare di F per $F > 1,1 F_p$, l'unione collassa per il valore $F_{Rd,t}$ che corrisponde alla plasticizzazione del gambo del bullone.

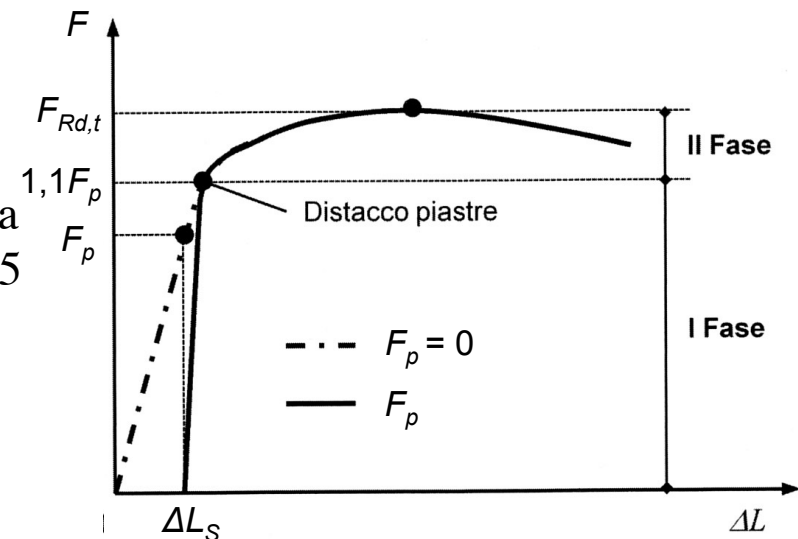
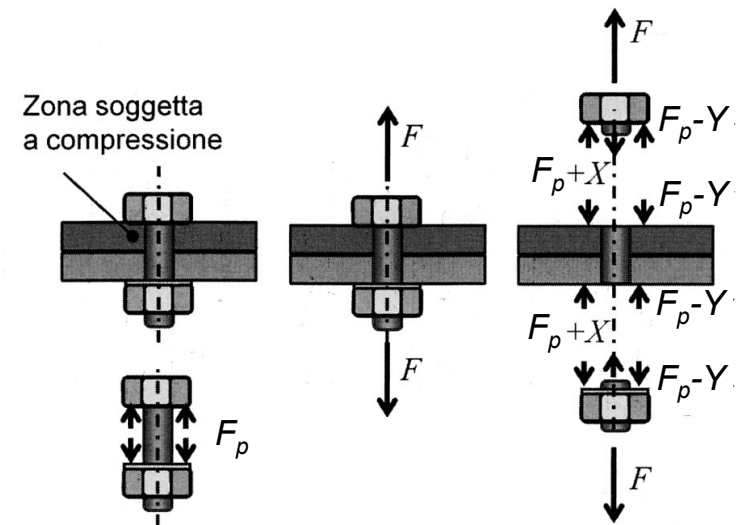
Se non fosse presente uno sforzo iniziale di serraggio F_p , il diagramma $F-\Delta L$ seguirebbe inizialmente la linea tratteggiata indicata in figura.

Come per le unioni a taglio, anche per le unioni a trazione è possibile eseguire la verifica nei confronti di due diversi stati limite, corrispondenti alla decompressione delle lamiere e alla resistenza a rottura per trazione del bullone.

La resistenza di calcolo a trazione di un bullone può essere assunta pari a

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

in cui f_{tb} è la resistenza caratteristica a rottura, A_{res} l'area del gambo in corrispondenza della filettatura, $\gamma_{M2} = 1,25$ il coefficiente parziale di sicurezza.



Nelle unioni bullonate soggette a trazione è anche necessario verificare la lamiera a **punzonamento**. In questo caso, la resistenza di calcolo è data dalla relazione

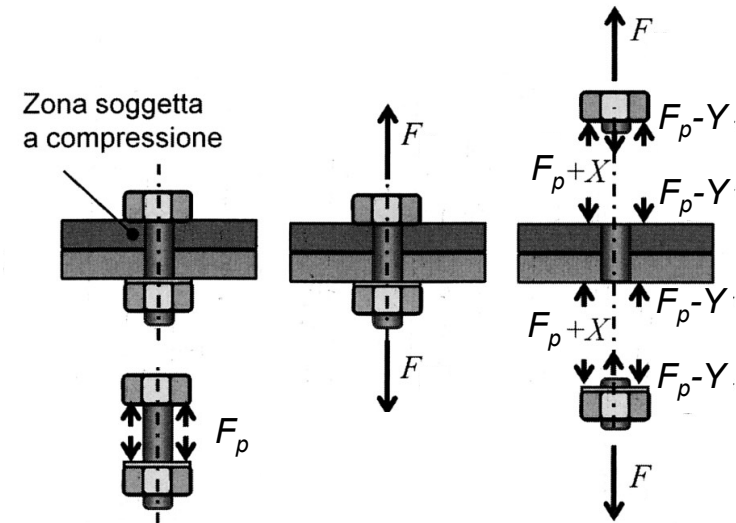
$$F_{Rd,p} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

dove:

d_m è il minore tra il diametro del dado e quello medio della testa del bullone;

t_p è lo spessore della lamiera;

f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura della lamiera.



In definitiva, la resistenza di calcolo dell'unione è la più piccola tra $F_{Rd,t}$ e $F_{Rd,p}$. La verifica è soddisfatta se risulta

$$F_{Sd,b} \leq \min(F_{Rd,t}; F_{Rd,p})$$

dove $F_{Sd,b}$ è la sollecitazione di calcolo di trazione agente su un bullone.

Unioni a taglio e trazione

La resistenza di calcolo di un collegamento ad attrito soggetto anche alla forza di trazione F_{Sd} è inferiore rispetto al caso di sollecitazione di puro taglio e può essere calcolata con la relazione

$$F_{Rdb,p} = \frac{n \cdot \mu \cdot (F_{pd} - 0,8 \cdot F_{Sd,b})}{\gamma_{M3}}$$

Nel caso di presenza combinata di trazione e taglio si può adottare la formula di interazione lineare

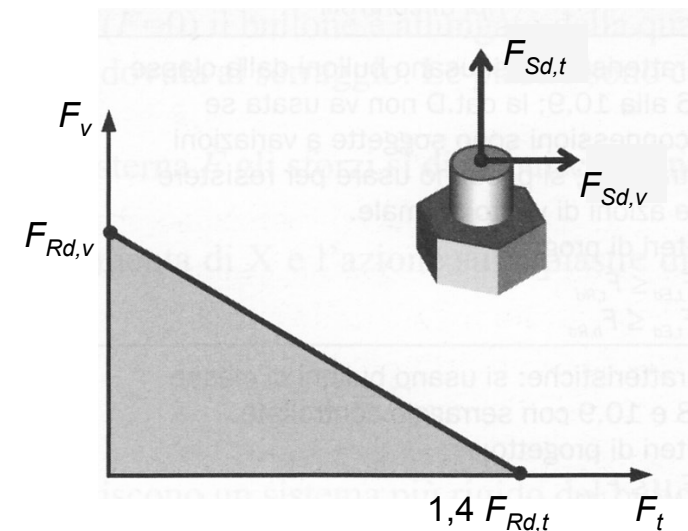
$$\frac{F_{Sd,v}}{F_{Rd,v}} + \frac{F_{Sd,t}}{1,4 \cdot F_{Rd,t}} \leq 1$$

con la limitazione ($F_{Sd,t} / F_{Rd,t} < 1$), dove $F_{Sd,v}$ e $F_{Sd,t}$ sono le sollecitazioni di taglio e di trazione agenti sul collegamento, $F_{Rd,v}$ e $F_{Rd,t}$ sono le resistenze a taglio e a trazione del collegamento.

Unioni con più bulloni. Nel caso di unioni a taglio con più bulloni, la forza esterna deve essere ripartita tra loro per ricondursi ai casi di verifica elementari.

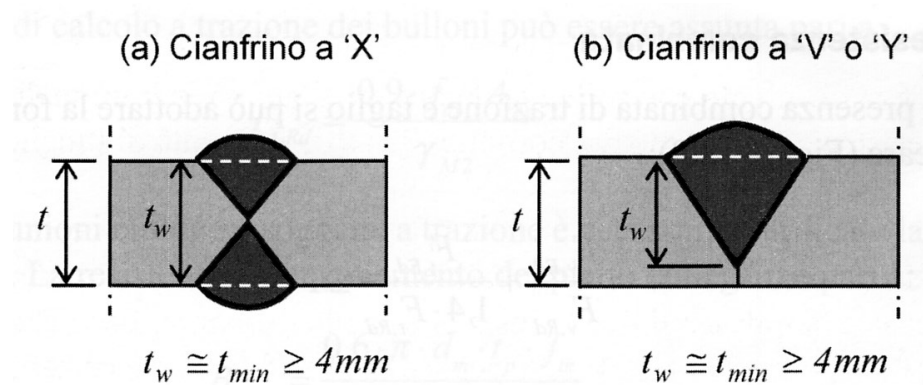
Nell'ipotesi di comportamento rigido delle lamiere collegate è possibile considerare una ripartizione uniforme.

Se la lamiera è rigida, infatti, i bulloni sono vincolati a deformarsi della stessa quantità e ad assorbire la stessa aliquota di sforzo.



Unioni di testa a completa penetrazione

Si realizzano attraverso una completa compenetrazione tra il materiale di base e quello di apporto del cordone di saldatura. È tipico il caso delle unioni di testa con cianfrino.



Poiché lo stato tensionale in prossimità del cordone non è alterato dalla saldatura, e poiché le caratteristiche meccaniche del materiale di apporto sono migliori di quelle di base, la verifica si effettua allo stesso modo con cui si verifica il materiale di base.

Unioni con cordone d'angolo

Il cordone di saldatura è esterno agli elementi metallici e ciò comporta una deviazione del flusso delle tensioni che si sviluppano tra le parti collegate. Per eseguire la verifica della saldatura è necessario stabilire il valore della sezione resistente del cordone, che si assume pari alla **sezione di gola**

$$s = a \cdot l$$

dove a è l'altezza della gola, cioè l'altezza del triangolo inscritto nella sezione trasversale del cordone, ed l è la lunghezza del cordone.

La resistenza di calcolo del cordone è data dalla relazione

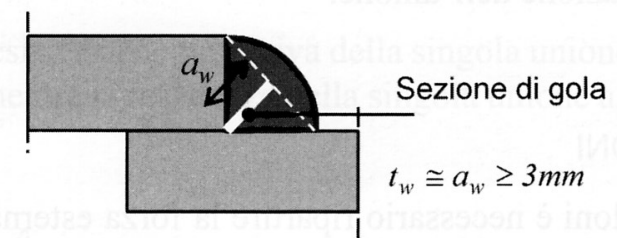
$$F_{Rd,w} = \frac{a \cdot l \cdot f_{tk}}{\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2}}$$

in cui il **coefficiente di efficienza**, β , tiene conto che la resistenza del materiale d'apporto è maggiore di quella del materiale di base e quindi amplifica la resistenza della saldatura: vale 0,80 per acciaio S235; 0,85 per acciaio S275; 0,90 per acciaio S355; 1,00 per acciaio S420 e S460.

La verifica è soddisfatta se risulta

$$F_{Rd,w} \geq F_{Sd,w}$$

(a) Cordone concavo



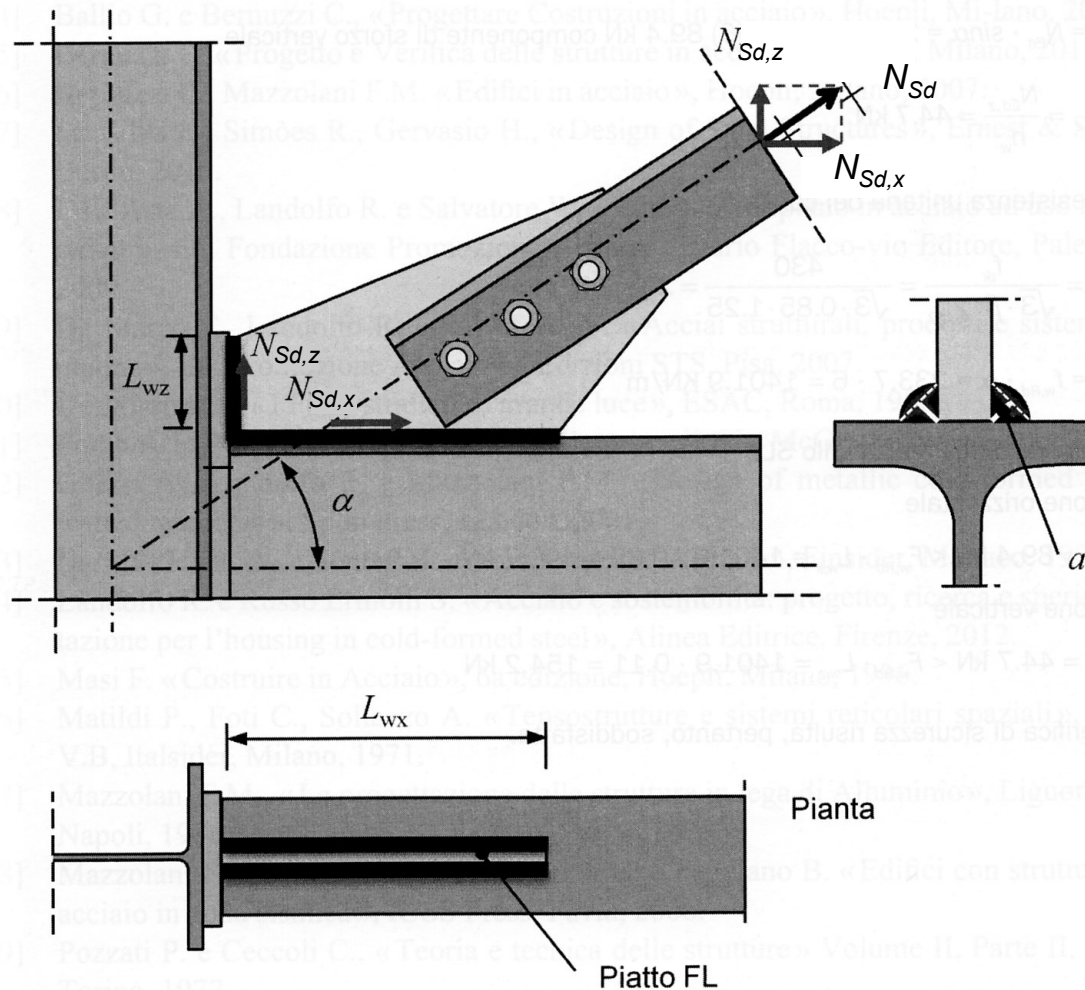
(b) Cordone triangolare



(c) Cordone convesso



Verificare allo SLU il collegamento saldato a cordoni d'angolo (Fig. 12.11) posto alla estremità del fazzoletto, in acciaio S275 e dello spessore $t = 15 \text{ mm}$, appartenente ad un controvento verticale le cui diagonali trasmettono al sistema uno sforzo massimo di trazione $N_{Sd} = 200 \text{ kN}$, inclinato sull'orizzontale di un angolo $\alpha = 26,56^\circ$. Il collegamento saldato è costituito da due coppie di cordoni d'angolo la cui sezione di gola (a) presenta uno spessore di 6 mm e lunghezze rispettivamente di $L_{w,x} = 350 \text{ mm}$ (cordoni orizzontali) e $L_{w,z} = 110 \text{ mm}$ (cordoni verticali)



Dati

$$N_{Sd} = 200 \text{ kN}$$

$$\alpha = 26,56^\circ$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$L_{w,x} = 350 \text{ mm}$$

$$L_{w,z} = 110 \text{ mm}$$

$$n_w = 2 \text{ (numero di cordoni)}$$

$$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2 \text{ per } t < 40 \text{ mm}$$

$$\beta = 0.85 \text{ (coefficiente di efficienza del cordone)}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 \text{ (coefficiente di sicurezza parziale per rottura)}$$

Svolgimento

1) Valutazione delle sollecitazioni agenti nell'unione elementare

Cordoni orizzontali

$$N_{Sd,x} = N_{Sd} \cdot \cos \alpha = 200 \cdot \cos (26.56) = 178.9 \text{ kN} \text{ componente di sforzo orizzontale}$$

$$F_{Sd,wx} = \frac{N_{Sd,x}}{n_w} = 89.4 \text{ kN} \text{ sforzo agente nel singolo cordone}$$

Cordoni verticali

$$N_{Sd,z} = N_{Sd} \cdot \sin \alpha = 200 \cdot \sin (26.56) = 89.4 \text{ kN} \text{ componente di sforzo verticale}$$

$$F_{Sd,wz} = \frac{N_{Sd,z}}{n_w} = 44.7 \text{ kN}$$

2) Resistenza unitaria del cordone

$$f_{Rd,w} = \frac{f_{tk}}{\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2}} = \frac{430}{\sqrt{3} \cdot 0.85 \cdot 1.25} = 233.7 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{Rd,w} = f_{Rd,w} \cdot a = 233.7 \cdot 6 = 1401.9 \text{ kN/m}$$

3) Verifica di resistenza allo SLU

Cordone orizzontale

$$F_{Sd,wx} = 89.4 \text{ kN} < F_{Rd,w} \cdot L_{w,x} = 1401.9 \cdot 0.35 = 490,7 \text{ kN}$$

Cordone verticale

$$F_{Sd,wz} = 44.7 \text{ kN} < F_{Rd,w} \cdot L_{w,z} = 1401.9 \cdot 0.11 = 154.2 \text{ kN}$$

La verifica di sicurezza risulta, pertanto, soddisfatta.

Riferimenti bibliografici

1. D.M. 14 gennaio 2008. *Norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, 2008, (NTC08).
2. Circolare 2 febbraio 2009 n. 617. *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni* di cui al D.M. 14 gennaio 2008, approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
3. Eurocode 3: Design of steel structures - EN 1993
4. Mezzina Mauro (a cura di), *Fondamenti di Tecnica delle Costruzioni*, Città Studi Edizioni, 2013.