

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale sulla base
delle normative più recenti

Elementi strutturali e collegamenti in acciaio

Villa Redenta, Spoleto

25-27 settembre 2008

Aurelio Ghersi

Collegamenti

Tipi di collegamenti

1. Collegamento a parziale ripristino di resistenza

In grado di trasmettere le caratteristiche di sollecitazione di progetto

2. Collegamento a completo ripristino di resistenza

In grado di trasmettere le caratteristiche di sollecitazione ultime del meno resistente tra gli elementi collegati

Tipi di collegamenti

1. Collegamento bullonati
2. Collegamenti saldati

Resistenze da usare

- Sempre i valori ultimi (non quelli di snervamento)

Bulloni: f_{ub}

Saldature:

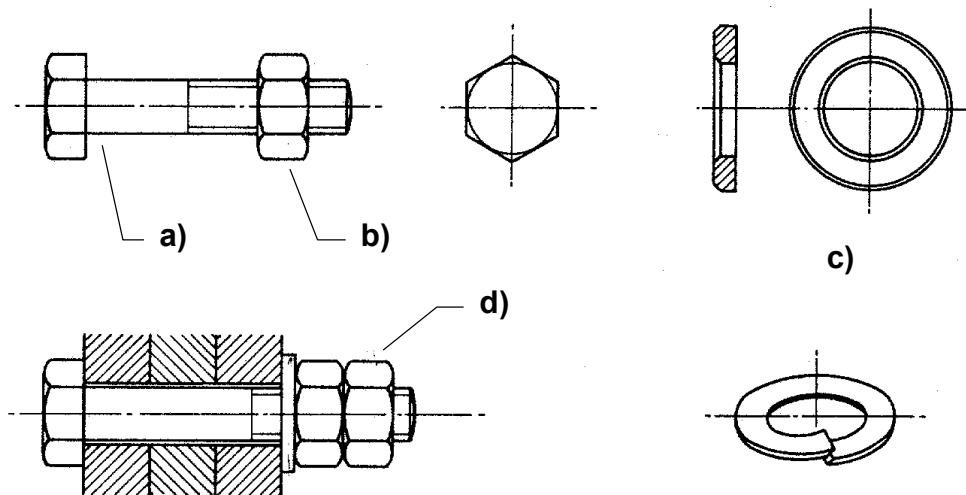
si dovrebbe usare f_{uw} (resistenza della saldatura);
per comodità la si riporta a f_u del materiale base

Collegamenti bullonati

I bulloni

Sono costituiti da:

- a) vite con testa esagonale e gambo filettato in tutta o in parte
- b) dado di forma esagonale
- c) rondella sia del tipo elastico che rigido (o rosetta)
- d) controdado (se necessario) per garantire che il dado non si sviti neanche in presenza di vibrazioni



I bulloni

caratteristiche geometriche

- diametro (nominale)
individuato dalla lettera M più il diametro in mm

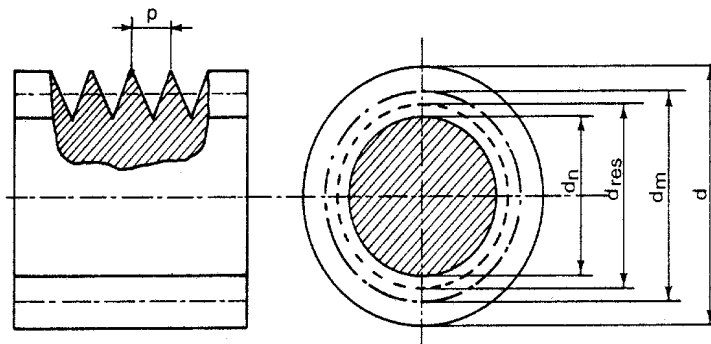
diámetro (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27	30
sigla	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30

- lunghezza
tale da assicurare l'attraversamento degli elementi da collegare;
non eccessiva per evitare sprechi e necessità di tagliare i pezzi
in eccesso
- lunghezza della parte filettata

I bulloni

area nominale ed area resistente

- la sezione si riduce in corrispondenza della filettatura




sigla	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
$A \text{ (mm}^2\text{)}$	113	154	201	254	314	380	452	573	707
$A_{res} \text{ (mm}^2\text{)}$	84.3	115	157	192	245	303	353	459	581
A_{res} / A	0.75	0.75	0.78	0.75	0.78	0.80	0.78	0.80	0.82

I bulloni

classe di resistenza

- Sigla che individua le caratteristiche dell'acciaio: due numeri separati da un punto
 - Primo numero: indica la tensione di rottura in MPa (divisa per 100: 4 → 400 MPa)
 - Secondo numero: indica il rapporto tra tensione di snervamento e tensione di rottura (moltiplicato per 10: 6 → 0.6)
- Classi previste dalle NTC08:

bulloni ad alta resistenza



classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{ub} (MPa)	400	500	600	800	1000
f_{yb} (MPa)	240	300	480	640	900

I bulloni

diametri dei fori

- condiziona sia la facilità di montaggio della struttura che la sua deformazione

d diametro bullone

d_0 diametro foro

$d-d_0$ gioco foro-bullone

diametro bullone d	12	14	16	18	20	22	24	27	30
NTC08	1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5
Eurocodice 3	1	1	2	2	2	2	2	3	3

Valori massimi del gioco foro-bullone (mm)

- fori calibrati: $d-d_0 \leq 0.3 \text{ mm}$

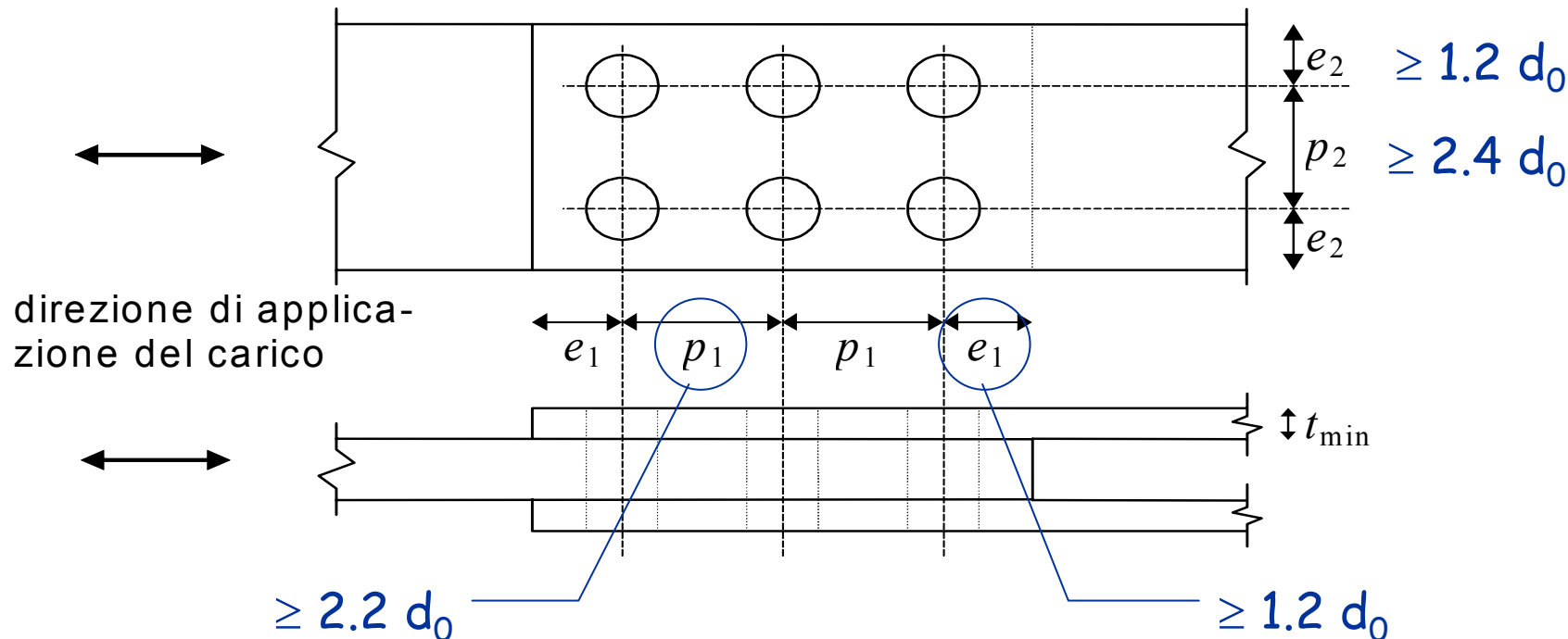
usati per limitare al massimo le deformazioni indotte dallo scorrimento del bullone nel foro

I bulloni

distanze tra fori e foro-bordo

- limiti per le distanze minime, sia in direzione della forza trasmessa che perpendicolarmente

Esistono anche limiti alla distanza massima



I limiti nascono da problemi di resistenza della lamiera, ma anche da problemi di montaggio

I bulloni serraggio

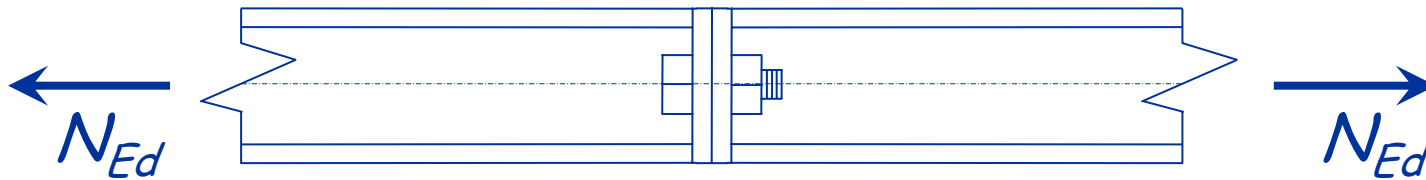
- Serraggio:
 - importante per garantire un buon comportamento e limitare deformabilità
 - fondamentale nelle unioni ad attrito
- Forza di precarico:

$$F_{p,Cd} = 0.7 \frac{f_{ub} A_{res}}{\gamma_{M7}}$$

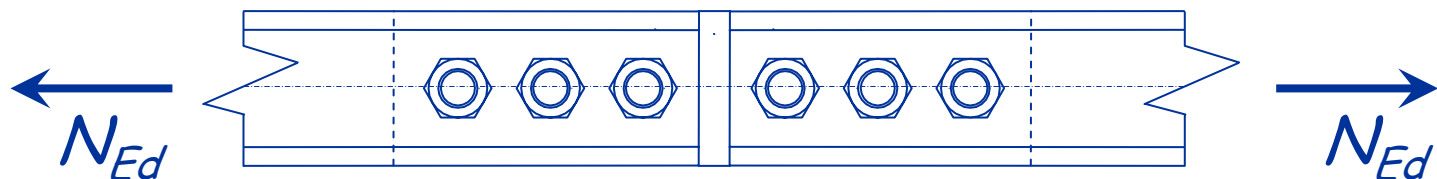
$$\gamma_{M7} = 1.10$$

Collegamenti bullonati modalità di comportamento

1 - Con bulloni sollecitati a trazione

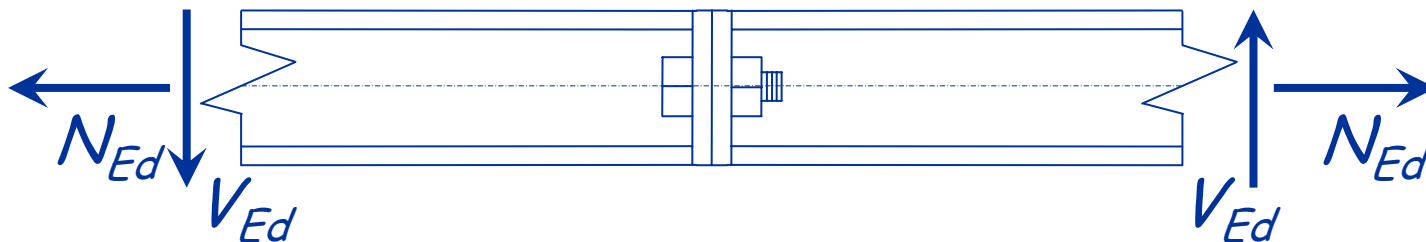


2 - Con bulloni sollecitati a taglio



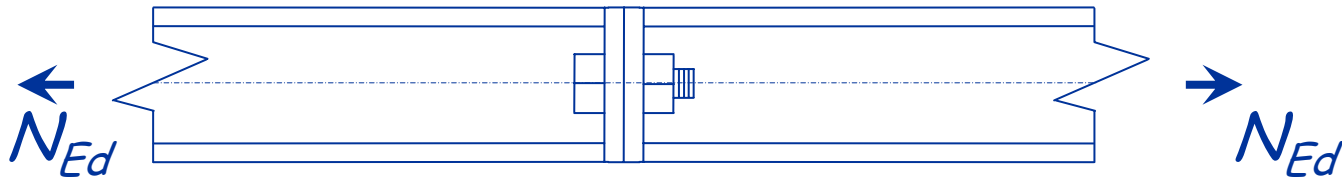
In alternativa:
ad attrito

3 - Con bulloni sollecitati a trazione e taglio



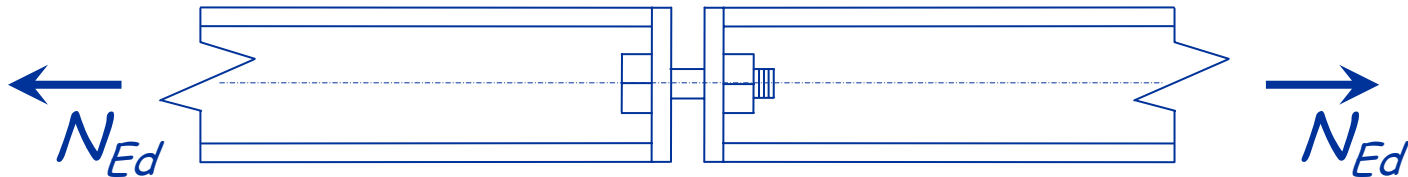
Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati bulloni sollecitati a trazione

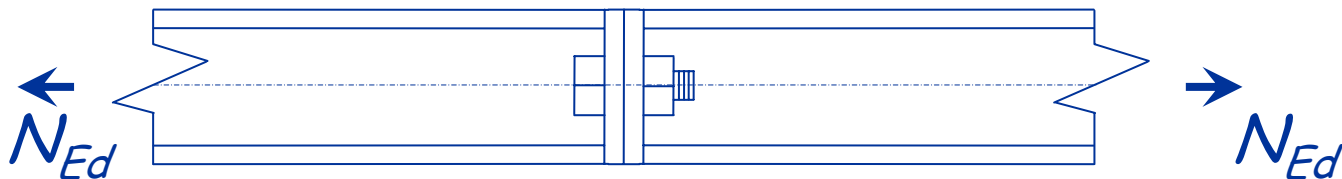
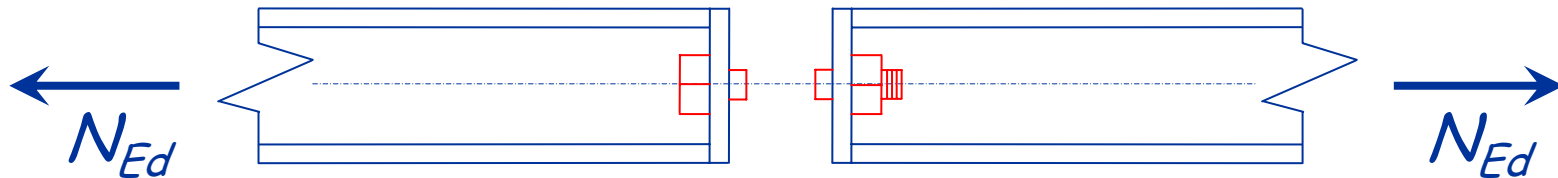
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

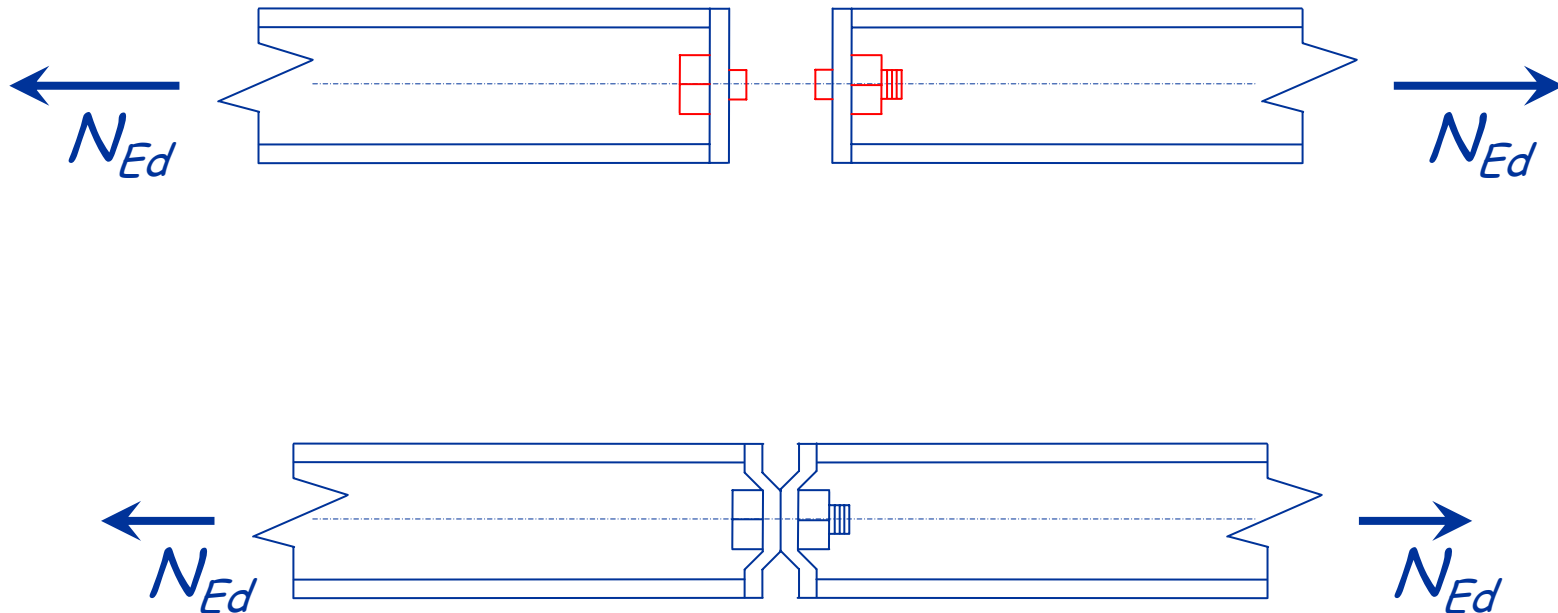
1 - Rottura dei bulloni a trazione



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

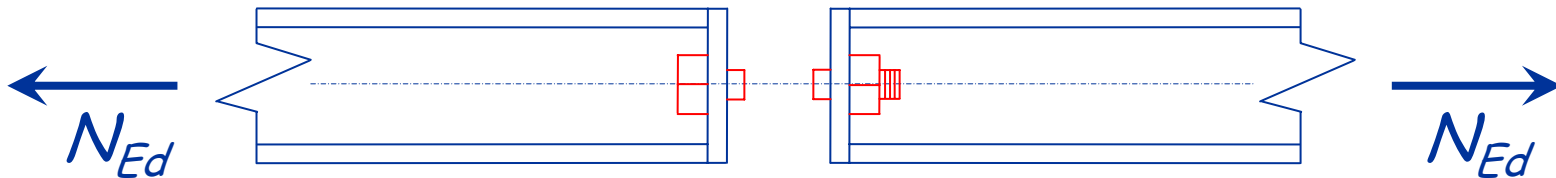
1 - Rottura dei bulloni a trazione



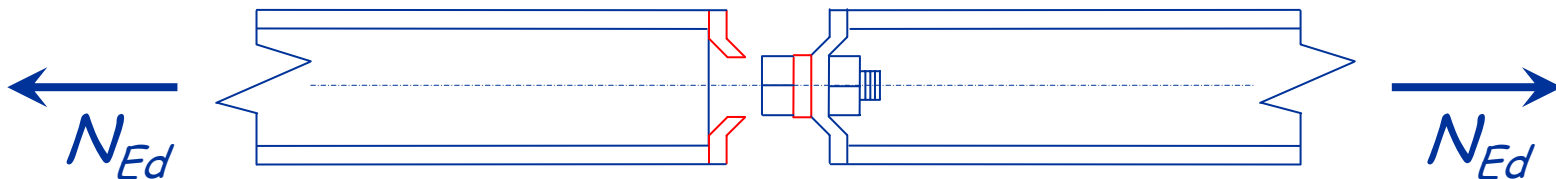
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a trazione

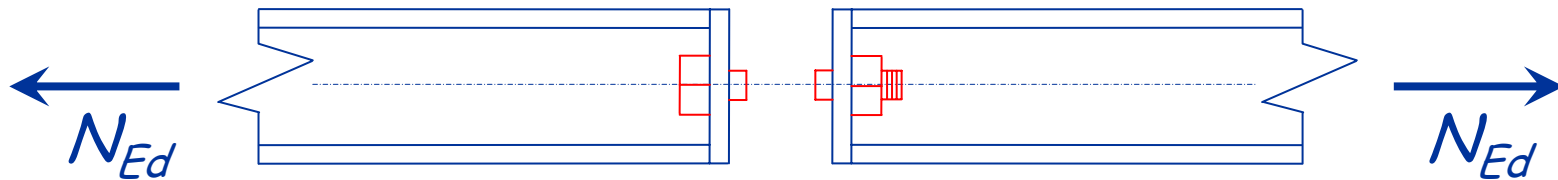


2 - Punzonamento della piastra



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



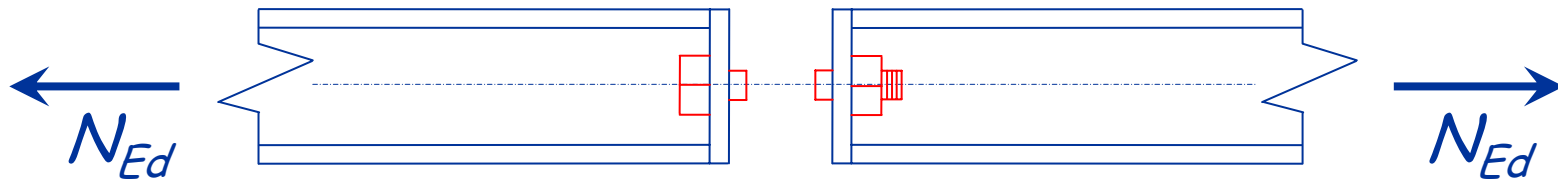
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

$$F_{t,max} = A_{res} f_{ub}$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione



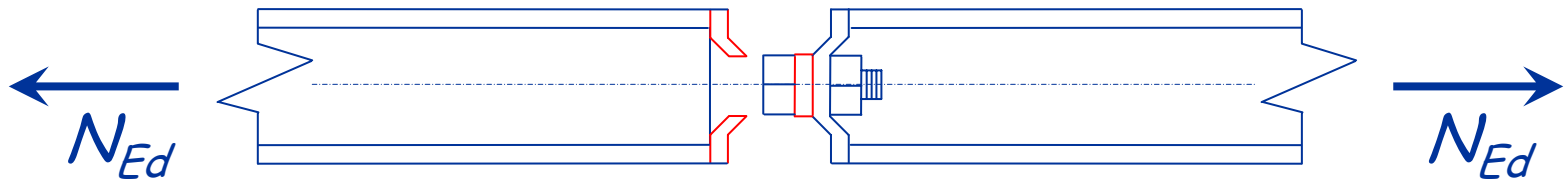
Il bullone si rompe quando la tensione sul bullone è pari a f_{ub}

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

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



La piastra si rompe quando la tensione tangenziale sulla giacitura di rottura è pari a $f_u / \sqrt{3}$

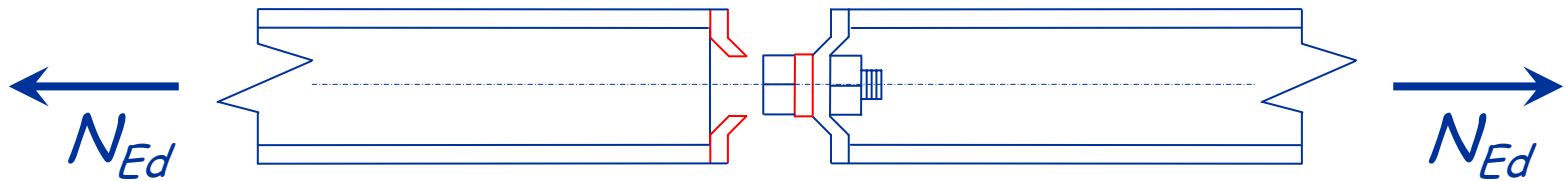
$$B_{p,max} = \pi d_m t_p (f_u / \sqrt{3})$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

2 - Punzonamento della piastra



La piastra si rompe quando la tensione tangenziale sulla giacitura di rottura è pari a $f_u / \sqrt{3}$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

1 - Rottura dei bulloni a trazione

$$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

A_{res} Area resistente del bullone

2 - Punzonamento della piastra

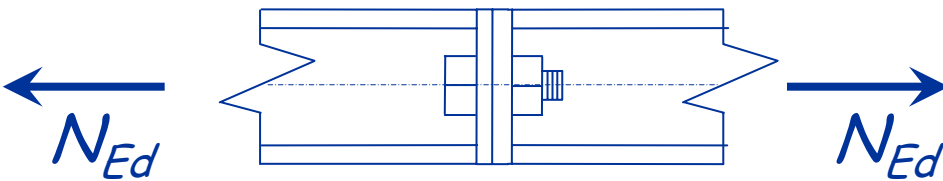
$$F_{t,Sb} \leq B_{p,Rb} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

d_m Diametro della giacitura di rottura

t_p Spessore della piastra

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
2 Bulloni	M16
	classe 5.6
Lamiera	Fe360
	$t_p = 5 \text{ mm}$

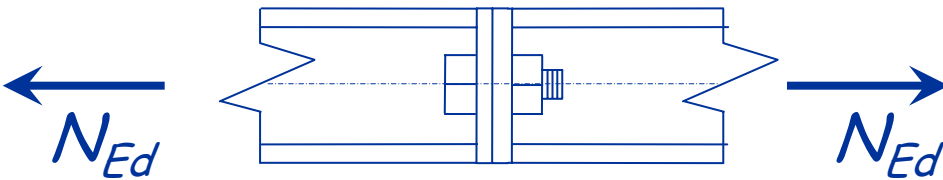
1 - Determinazione di $F_{t,Rd}$

$$A_{res} = 157 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 157 \times 500}{1.25 \times 10^3} = 56.5 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



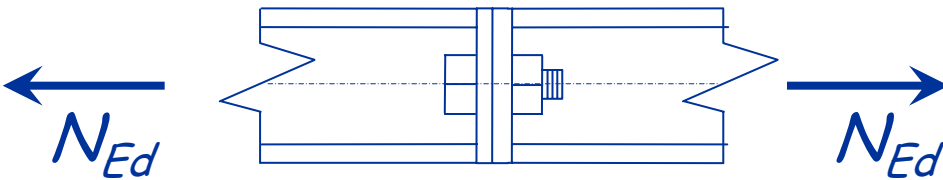
N_{Ed}	100 kN
2 Bulloni	M16
	classe 5.6
Lamiera	Fe360
	$t_p = 5 \text{ mm}$

2 - Determinazione di $B_{p,Rd}$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \times \pi \times 25 \times 5 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 67.9 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
2 Bulloni	M16
	classe 5.6
Lamiera	Fe360
	$t_p = 5 \text{ mm}$

3 - Verifica

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN}$$

$$< F_{t,Rd} < B_{p,Rd}$$

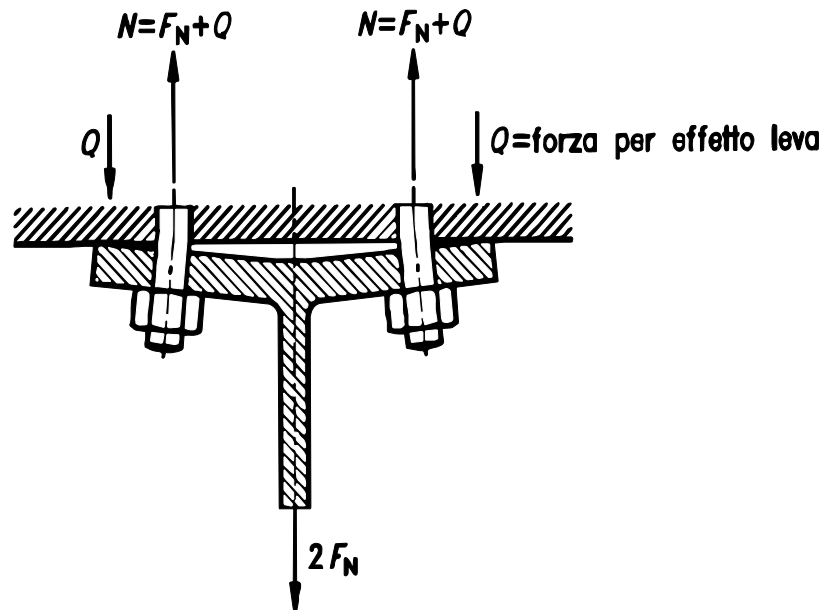
$$F_{t,Rd} = 56.5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 67.9 \text{ kN}$$

Il collegamento è verificato

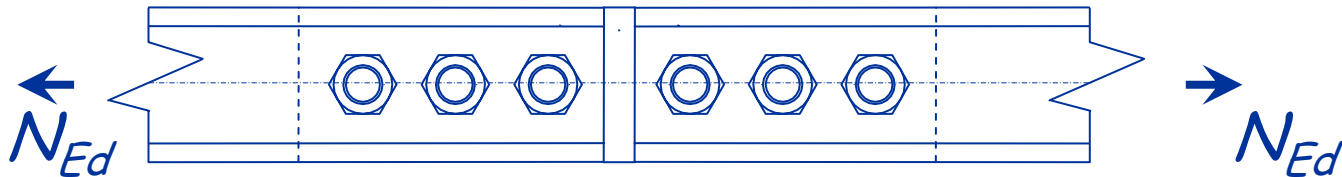
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a trazione

- Occorre fare attenzione all'effetto leva
 - incrementare la forza sollecitante per tenerne conto
 - irrigidire l'elemento per evitare questa deformazione



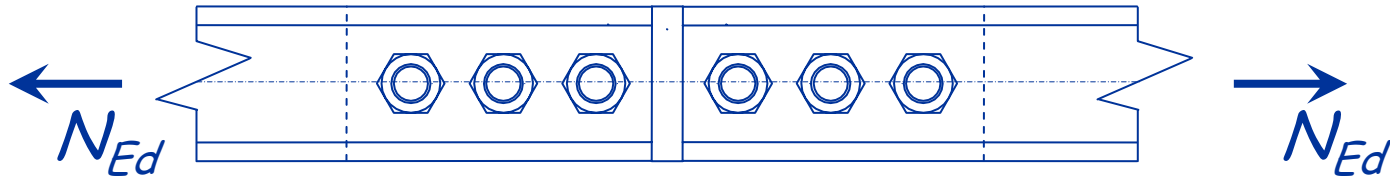
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

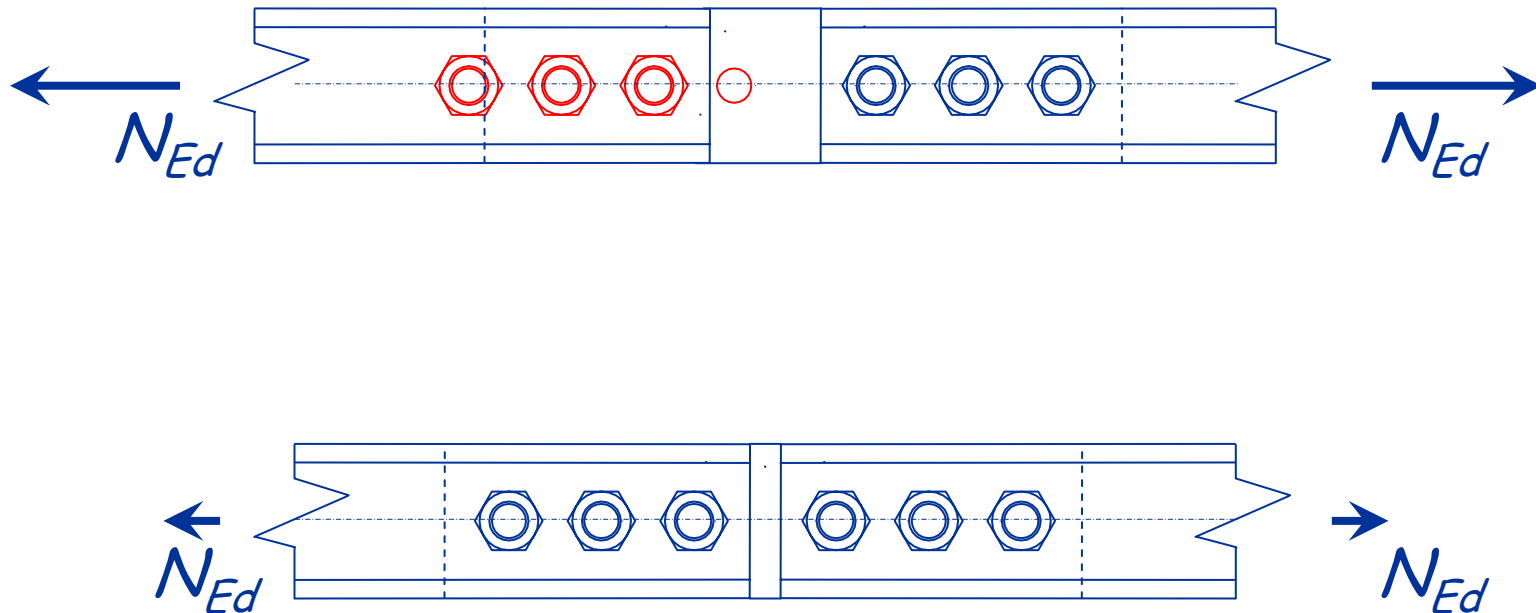
Meccanismi di rottura



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

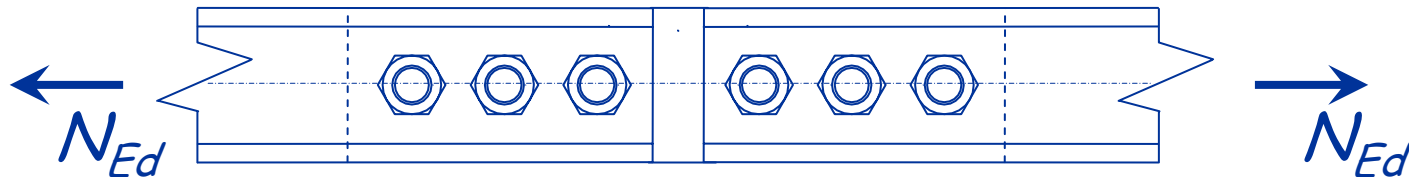
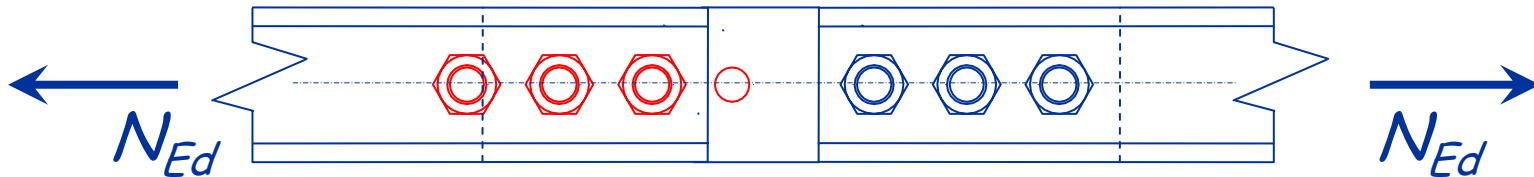
1 - Rottura dei bulloni a taglio



Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

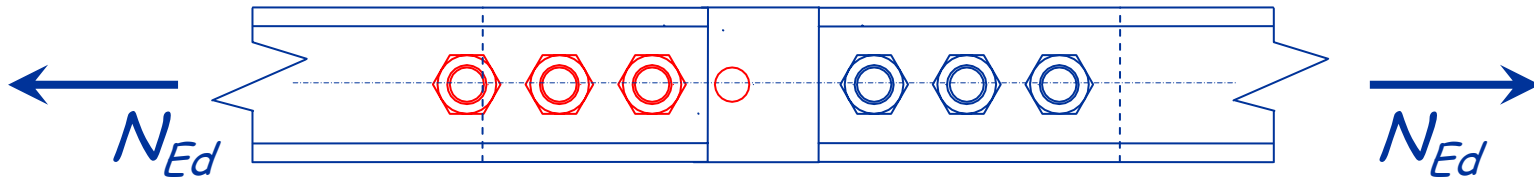
1 - Rottura dei bulloni a taglio



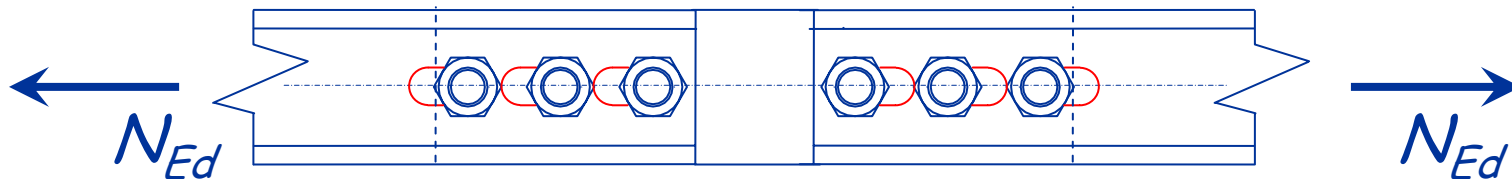
Collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

Meccanismi di rottura

1 - Rottura dei bulloni a taglio

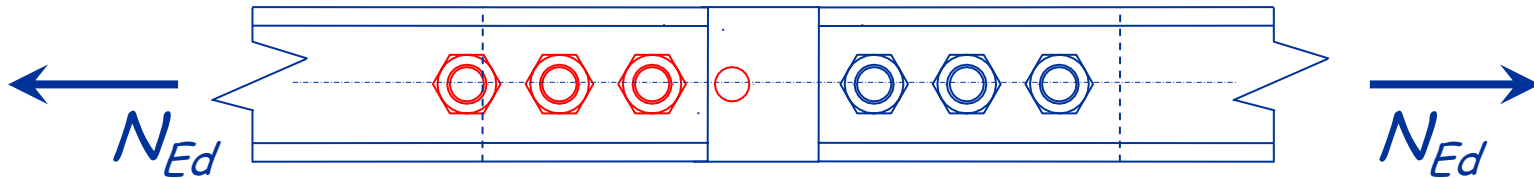


2 - Rifollamento delle lamiere



Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



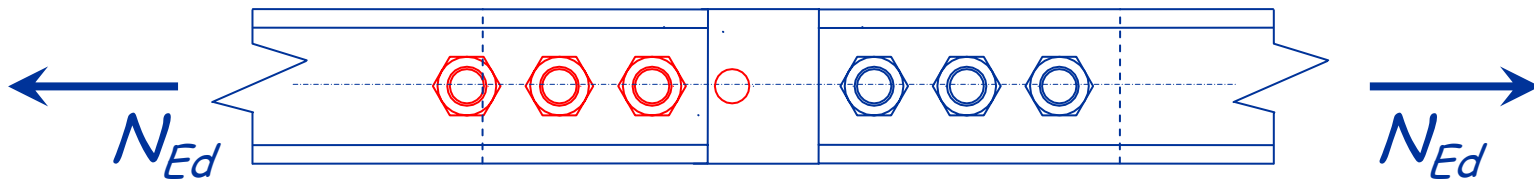
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

$$F_{V,max} = A (f_{ub} / \sqrt{3})$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



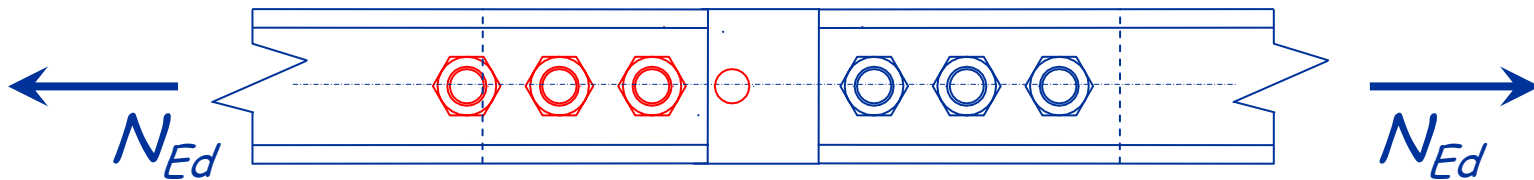
Il bullone si rompe quando la tensione tangenziale sul bullone è pari a $f_{ub} / \sqrt{3}$

$$F_{v,Rd} = \frac{A (0.6 f_{ub})}{\gamma_{M2}}$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



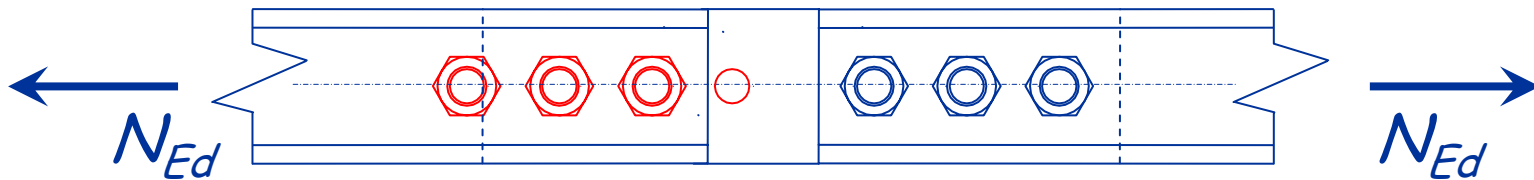
Se il piano di taglio non attraversa la parte filettata
del bullone:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per tutte le classi di bulloni})$$

A Area nominale del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio



Se il piano di taglio attraversa la parte filettata del bullone:

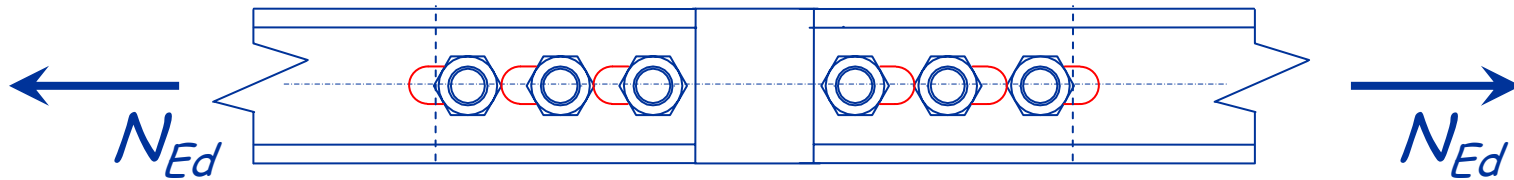
$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 ed 8.8})$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{per bulloni di classe 6.8 e 10.9})$$

A_{res} Area resistente del bullone

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \alpha f_u$

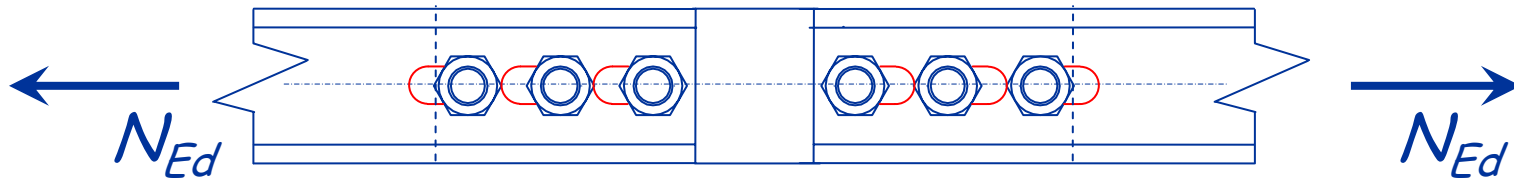
$$F_{b,max} = k \alpha d t_p f_u$$

d Diametro del bullone

t_p Spessore della lamiera

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



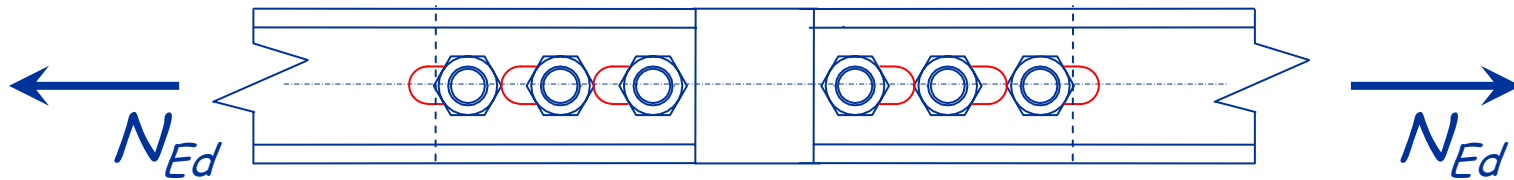
Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \alpha f_u$

$$F_{b,max} = k \alpha d t_p f_u$$

Bulloni: di bordo	$k = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$	$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$
interni	$k = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$	$\alpha = \min\left(\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$

Resistenza di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

2 - Rifollamento delle lamiere



Si ottiene quando la tensione esercitata dal bullone sulla lamiera raggiunge il valore convenzionale $k \alpha f_u$

$$F_{b,Rd} = \frac{k \alpha d t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Bulloni: di bordo	$k = \min \left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$	$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$
interni	$k = \min \left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$	$\alpha = \min \left(\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio

1 - Rottura dei bulloni a taglio (rottura sulla sezione nominale)

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{rottura nella parte filettata})$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.6 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{o} \quad F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.5 A_{res} f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

2 - Rifollamento della lamiera

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{k \alpha d t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Bulloni:
di bordo

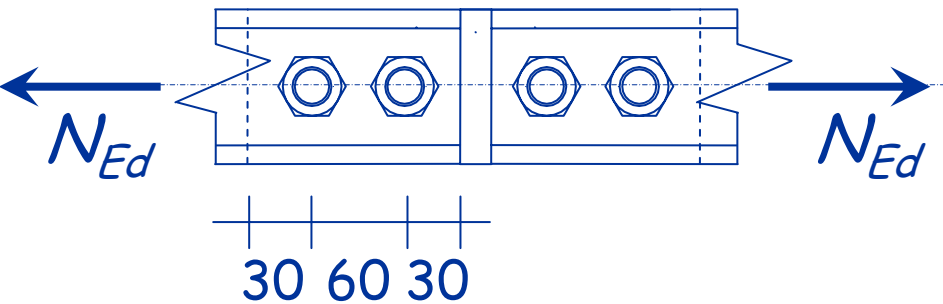
$$k = \min \left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) \quad \alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

interni

$$k = \min \left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) \quad \alpha = \min \left(\frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
2 Bulloni (per lato)	M16 classe 5.6
Lamiera	Fe360
	$t_p = 10$ mm

1 - Determinazione di $F_{v,Rd}$

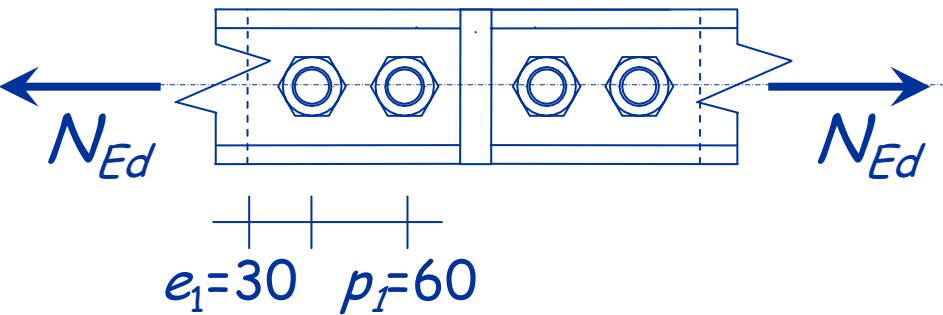
$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times 201 \times 500}{1.25 \times 10^3} = 48.2 \text{ kN}$$

N.B. In questo caso, ogni bullone porta $2 F_{v,Rd}$

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
2 Bulloni (per lato)	M16 classe 5.6
Lamiera	Fe360
	$t_p = 10$ mm

2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

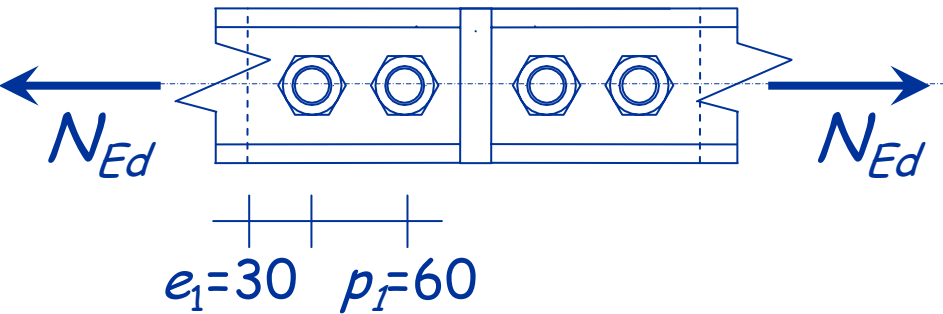
$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 d_0}, \frac{p_1}{3 d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = \min(0.555, 0.861, 1.39, 1)$$

$$k = 2.5$$

$$d = 16 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad d_0 = 18 \text{ mm}$$

Esempio

Dati:



N_{Ed}	100 kN
2 Bulloni (per lato)	M16 classe 5.6
Lamiera	Fe360
	$t_p = 10$ mm

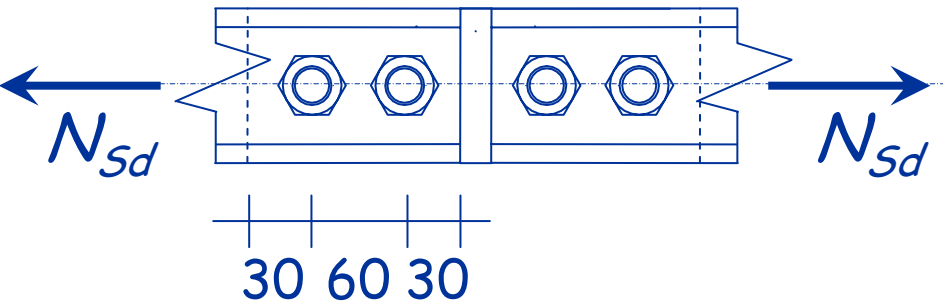
2 - Determinazione di $F_{b,Rd}$ (del piatto)

$$k = 2.5 \quad \alpha = 0.555$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.555 \times 18 \times 10 \times 360}{1.25 \times 10^3} = 71.9 \text{ kN}$$

Esempio

Dati:



N_{Sd} 100 kN
2 Bulloni (per lato) M16
Lamiera classe 5.6
Fe360
 $t_p = 10$ mm

3 - Verifica

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{Sd}}{n_b} = \frac{100}{2} = 50.0 \text{ kN} < 2 F_{v,Rd} < F_{b,Rd}$$

$$2 F_{v,Rd} = 2 \times 48.2 = 96.4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 71.9 \text{ kN}$$

Il collegamento è verificato

Collegamenti bullonati a taglio

suggerimento progettuale

Dimensionamento:

- Progettare i bulloni in base alla resistenza a taglio
 - individuare il diametro massimo che si può usare (in base alle dimensioni dell'elemento da forare)
 - pensare al numero di bulloni che si ritiene idoneo
 - determinare, anche con tentativi successivi, classe, numero, diametro
- Usare la verifica a punzonamento per definire la distanza minima tra i bulloni

Verifica di collegamenti bullonati con bulloni sollecitati a taglio e trazione

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

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

$F_{v,Ed}, F_{t,Ed}$ Sollecitazioni di taglio e trazione

$F_{v,Rd}$ Resistenza a taglio del bullone

$F_{t,Rd}$ Resistenza a trazione del bullone

Collegamenti bullonati ad attrito

- Tutti i bulloni prima di lavorare a taglio devono superare la resistenza ad attrito
In genere ciò avviene per carichi bassi ed è quindi trascurato
- Lo scorrimento dovuto al gioco foro-bullone provoca deformazioni nella struttura
In genere queste sono accettabili, ma devono essere comunque verificate
- Se si vuole evitare queste deformazioni si può progettare il collegamento in modo che non superi la resistenza di attrito
 - solo per SLE
 - anche per SLU

Collegamenti bullonati ad attrito

- Si usano in genere bulloni ad alta resistenza
- Resistenza ad attrito:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \mu F_{p,C}}{\gamma_{M3}}$$

$F_{p,C}$ forza di precarico

μ coefficiente di attrito

- $\mu = 0.45$ giunzioni sabbiate e protette
- $\mu = 0.30$ negli altri casi

n numero di superfici a contatto

Collegamenti saldati

Procedimenti di saldatura

- Sorgente termica
che produce alta temperatura in modo localizzato
- Fusione
del materiale base più il materiale di apporto
- Protezione del bagno di fusione
per evitare reazione con l'aria
- Procedimenti di saldatura:
 - manuali saldatura ossiacetilenica o saldatura ad arco con elettrodi rivestiti
 - semiautomatici saldatura a filo continuo sotto protezione di gas
 - automatici saldatura ad arco sommerso

Procedimenti di saldatura

- Procedimenti di saldatura manuali

Saldatura ossiacetilenica

- reazione tra acetilene ed ossigeno ($C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2$)
con produzione di gas riducenti e calore
- materiale di apporto sotto forma di bacchetta metallica

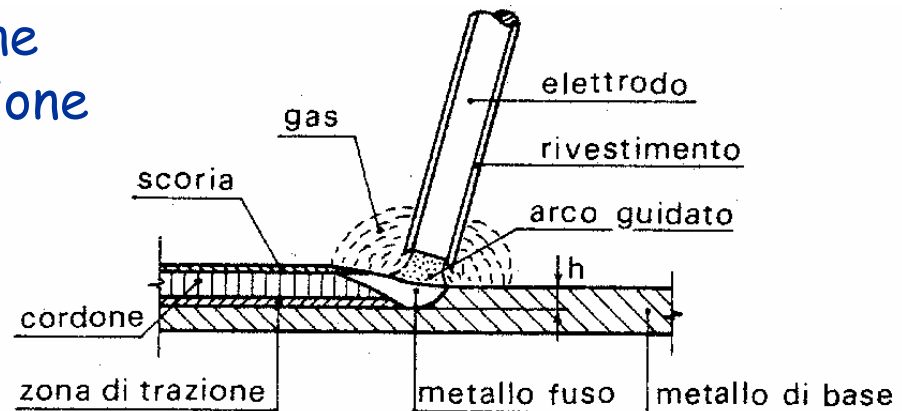
Procedimenti di saldatura

- Procedimenti di saldatura manuali

Saldatura ossiacetilenica

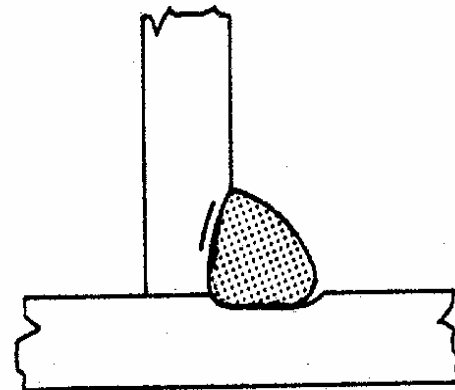
Saldatura ad arco con elettrodi rivestiti

- arco elettrico fatto scoccare tra materiale base ed elettrodo
- l'elettrodo ha funzione di materiale di apporto; bacchetta metallica con rivestimento la cui fusione genera gas per la protezione della zona fusa



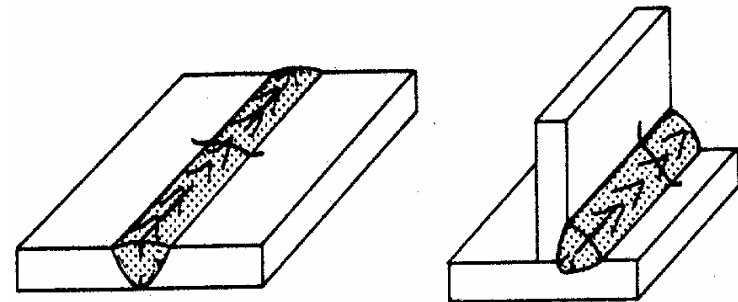
Difetti di saldatura

- Cricche a freddo
 - si generano ai bordi della saldatura per effetto dei cicli termici ad elevata velocità di raffreddamento che danno luogo a fenomeni simili a quella della tempera
 - la prevenzione da questo fenomeno può ottenersi con un preriscaldamento del pezzo, facendo più passate di saldatura ed utilizzando elettrodi con rivestimento basico



Difetti di saldatura

- Cricche a freddo
- Cricche a caldo
 - si generano durante la solidificazione della zona fusa e a seguito di scorie provenienti dal materiale base; queste ultime tendono a segregare in zone preferenziali e a temperature più basse del materiale circostante dando luogo a tensioni da ritiro e a non coesione del materiale



Difetti di saldatura

- Cricche a freddo
- Cricche a caldo
- Deformazioni permanenti
 - quando i pezzi da saldare non sono vincolati si hanno spostamenti relativi importanti che possono essere corretti con frecce iniziali di segno opposto, con bloccaggio dei pezzi da saldare o con studio delle sequenze di saldatura



Difetti di saldatura

- Cricche a freddo
- Cricche a caldo
- Deformazioni permanenti
- Strappi lamellari
- Difetti di esecuzione
 - dovuti a cavità contenenti scoria per sequenze improprie delle passate di saldatura, a mancata penetrazione dei pezzi da saldare o ad incollatura tra materiale di apporto fuso e materiale base non ancora fuso



Difetti di saldatura

- Cricche a freddo
- Cricche a caldo
- Deformazioni permanenti
- Strappi lamellari
- Difetti di esecuzione
- Tensioni residue

Controlli delle saldature

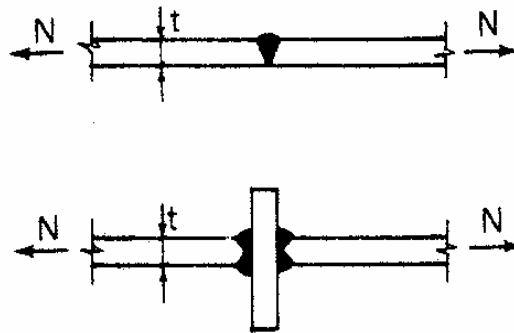
Necessari per valutare la qualità delle saldature

- esame radiografico
- esame ad ultrasuoni
- esame con liquidi penetranti

Collegamenti saldati

Classificazione

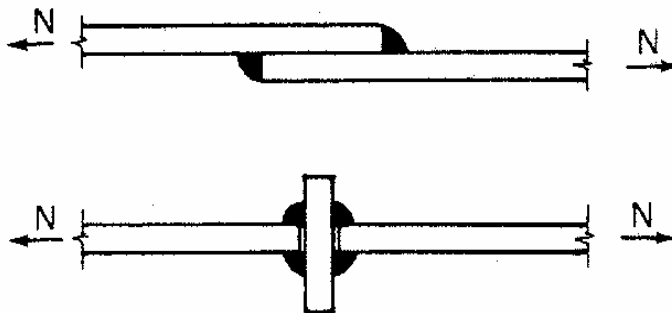
1. Saldature a completa penetrazione



Se rimangono tratti non collegati:

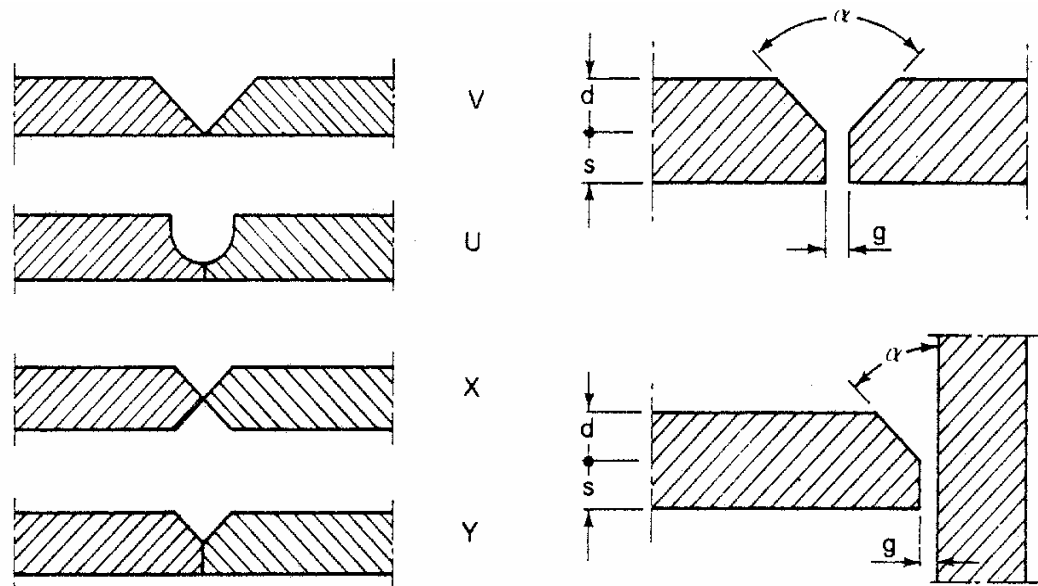
saldatura a parziale penetrazione (considerata come cordone d'angolo)

2. Saldature a cordone d'angolo



Saldatura a completa penetrazione

- È indispensabile la preparazione dei lembi dei pezzi da saldare:
cianfrinatura (perché lo smusso è denominato cianfrino)

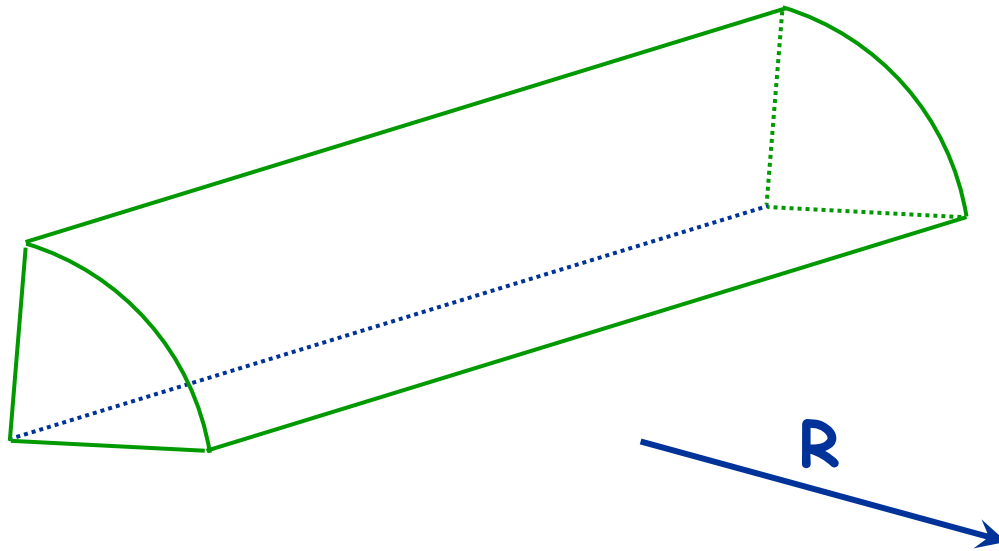


Saldatura a completa penetrazione

- È indispensabile la preparazione dei lembi dei pezzi da saldare:
cianfrinatura (perché lo smusso è denominato cianfrino)
- Viene perfettamente ripristinata la continuità del materiale
- La resistenza della saldatura è almeno pari a quella dei pezzi che unisce
- In genere non è necessaria una verifica specifica

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura

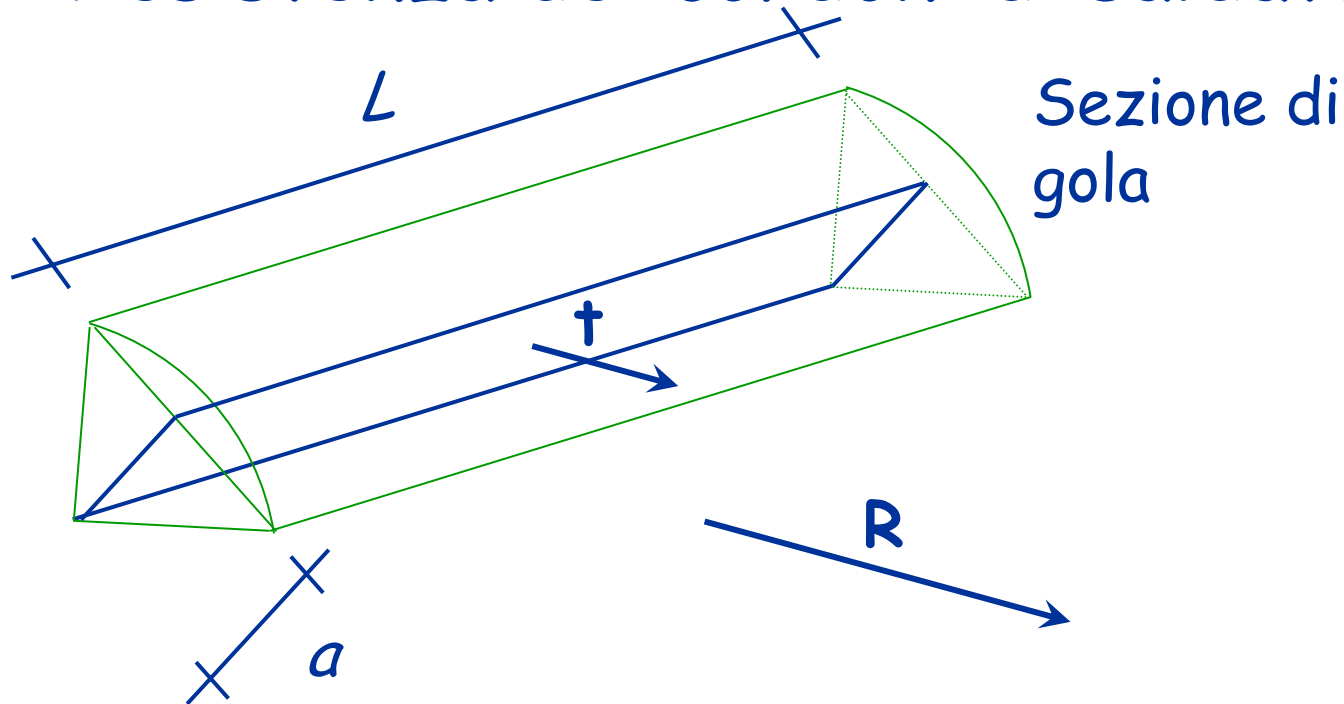


R

Forza agente sul cordone d'angolo

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura



R

Forza agente sul cordone d'angolo

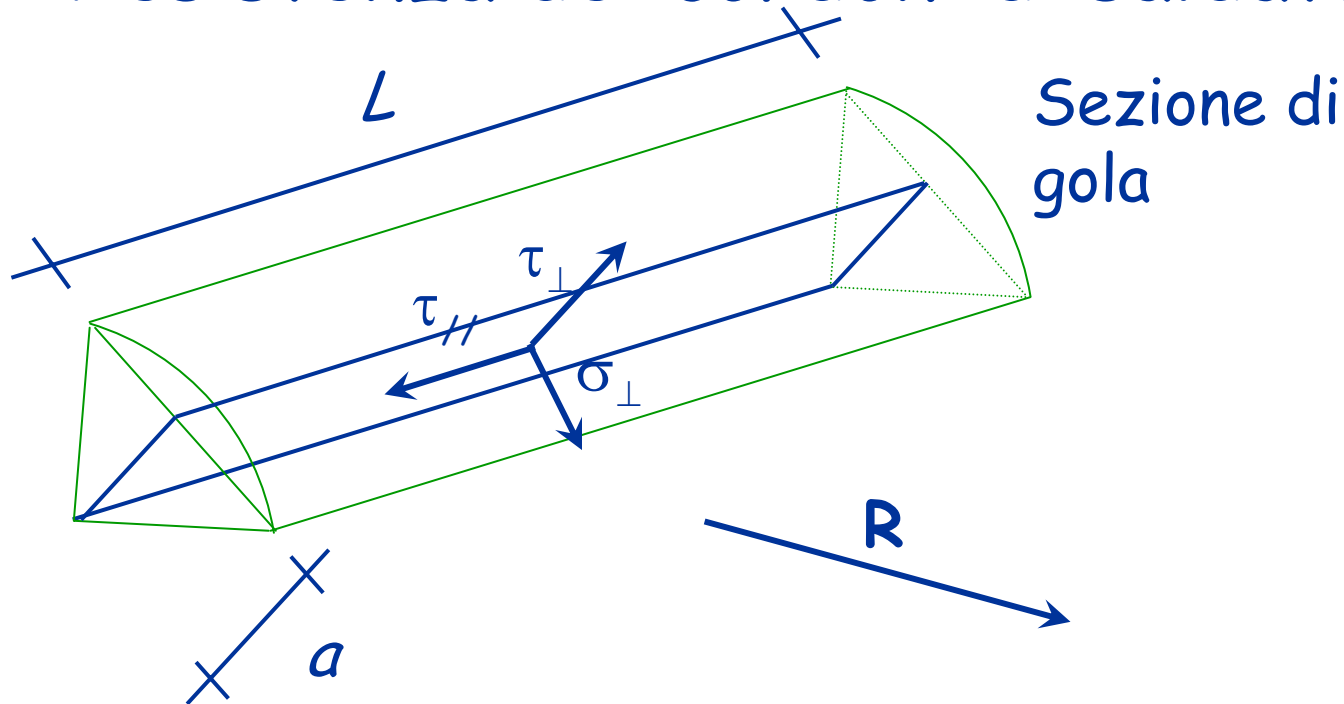
t

Tensione agente sulla sezione di gola

(ha lo stessa direzione di R e modulo pari a $t = R / a L$)

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura



R Forza agente sul cordone d'angolo

t Tensione agente sulla sezione di gola
(ha lo stessa direzione di R e modulo pari a $t = R / a L$)

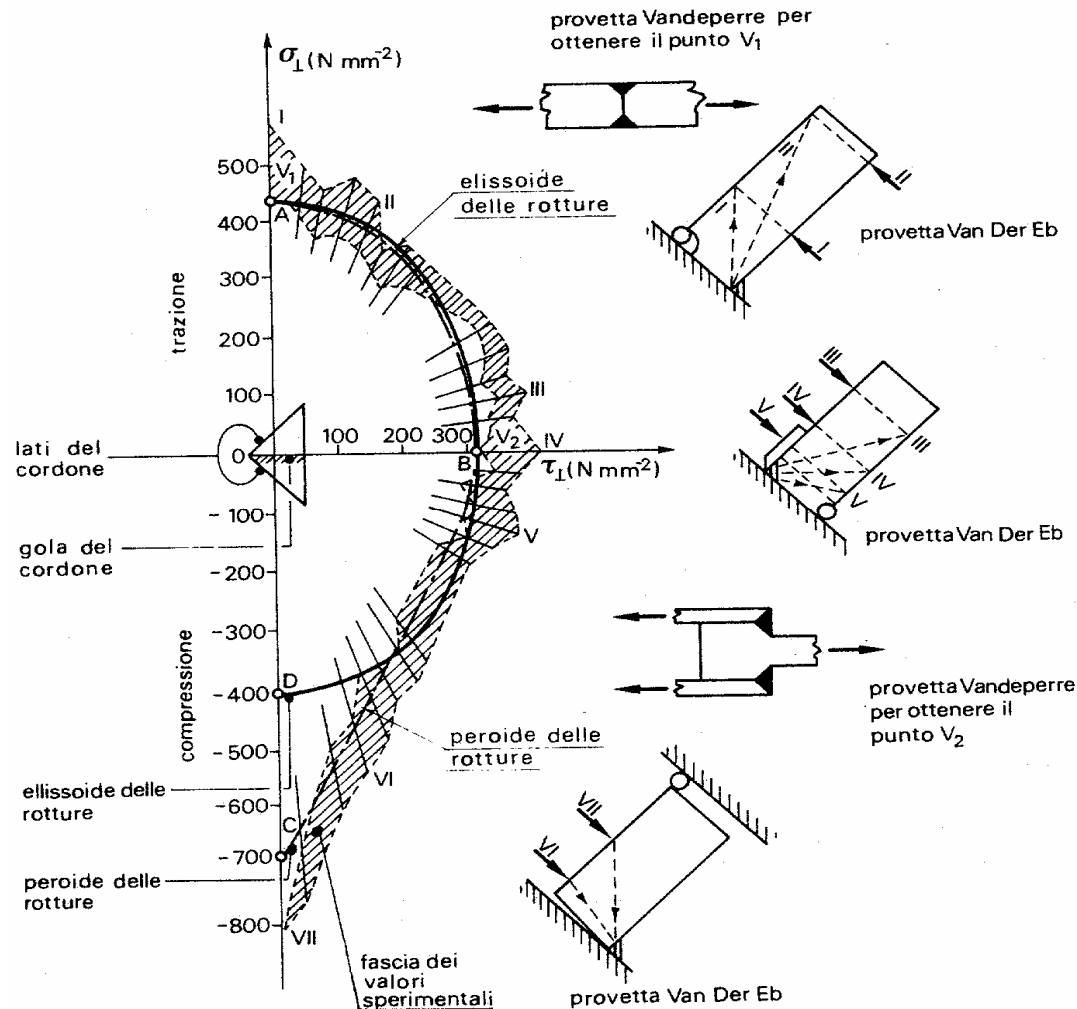
$\sigma_{\perp} \tau_{//} \tau_{\perp}$ Componenti di t

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura

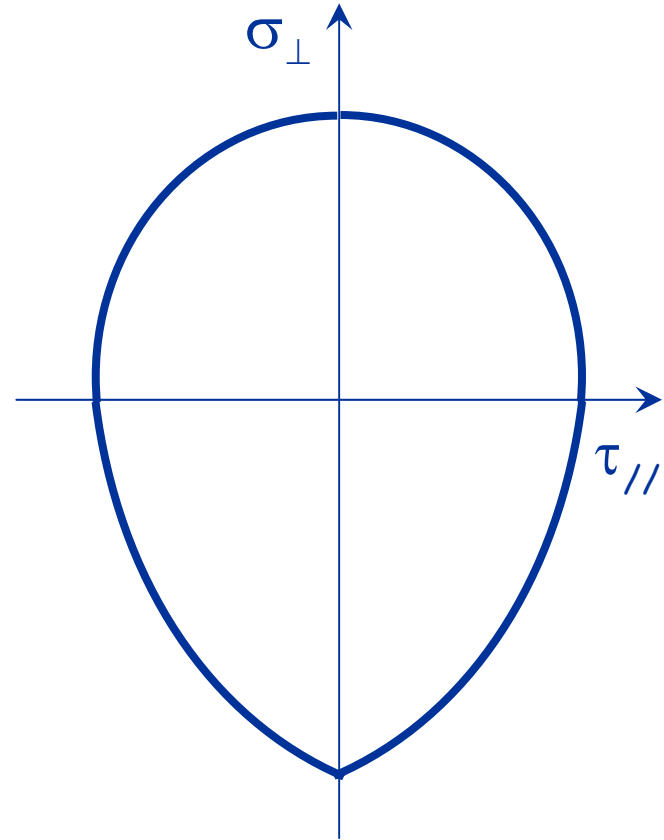
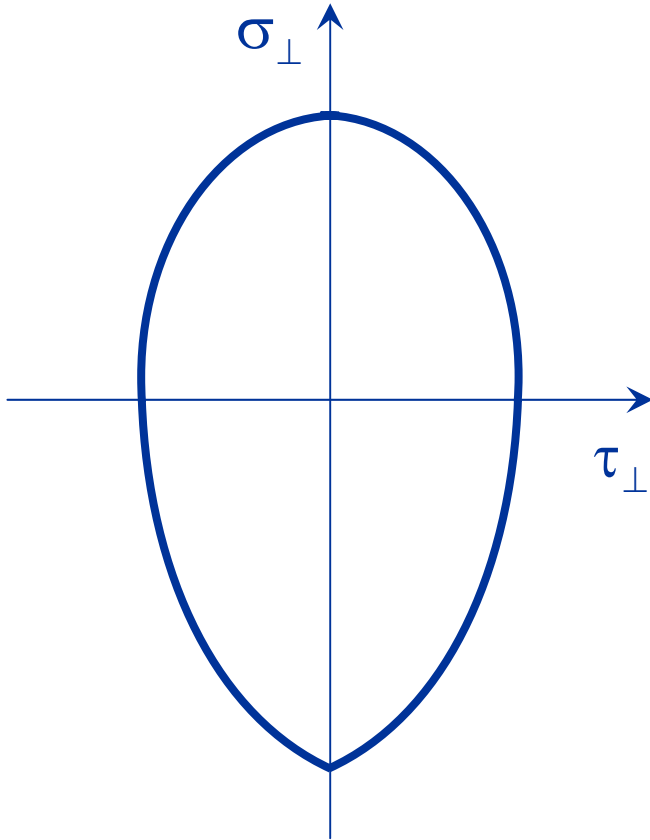
Il dominio di rottura di un cordone di saldatura è stato determinato sperimentalmente

Per la sua forma
irregolare è stato
denominato *perioide*



Saldatura a cordoni d'angolo

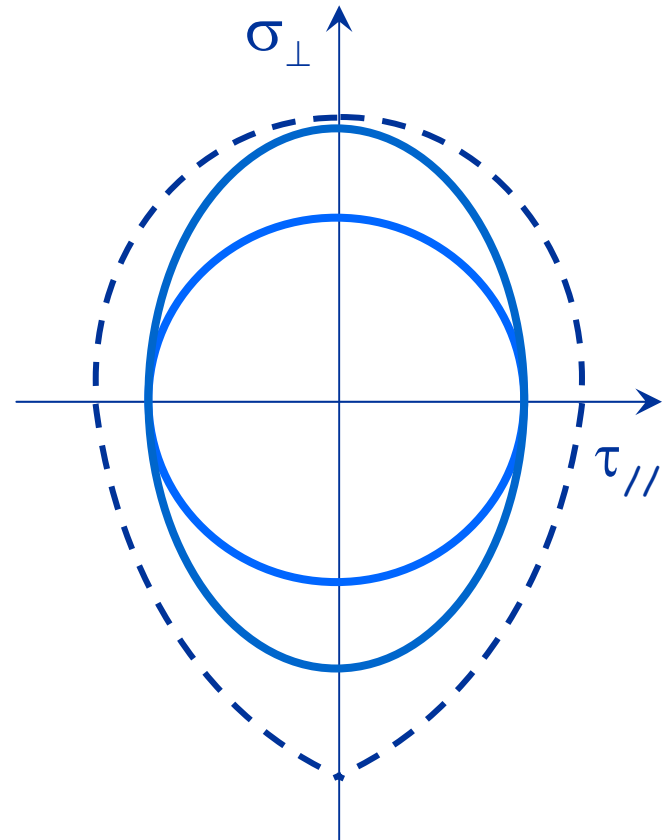
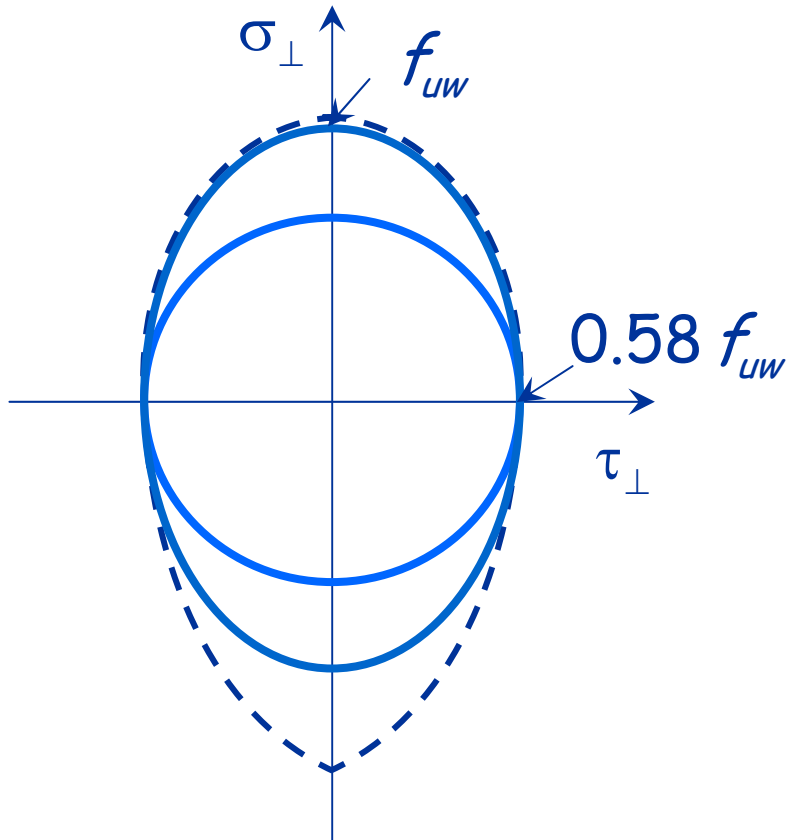
Resistenza dei cordoni di saldatura



Il dominio di rottura di un cordone di saldatura è stato determinato sperimentalmente e prende il nome di *peroide*.

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura



L'Eurocodice 3 propone due domini di rottura:
1 - dominio sferico;
2 - ellissoide di rotazione.

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura

Se si usa il dominio sferico:

$$f_{vw} = \frac{f_{uw}}{\sqrt{3}} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w}$$

f_{vw} Massima tensione sopportabile da cordone di saldatura

β_w Tiene conto della differenza tra il cordone di saldatura ed il materiale base

$\beta_w = 0.80$ Per Fe360

$\beta_w = 0.85$ Per Fe430

$\beta_w = 0.90$ Per Fe510

Saldatura a cordoni d'angolo

Resistenza dei cordoni di saldatura

Se si usa il dominio sferico:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

f_{vw} Massima tensione sopportabile da cordone di saldatura

β_w Tiene conto della differenza tra il cordone di saldatura ed il materiale base

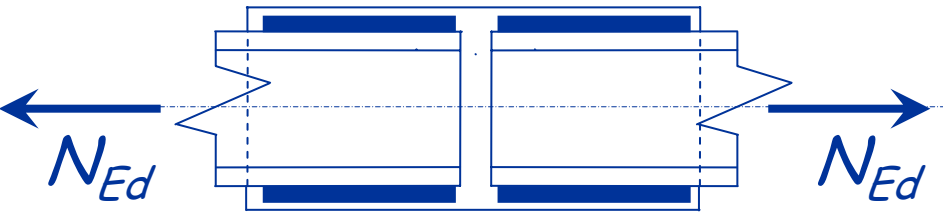
$\beta_w = 0.80$ Per Fe360

$\beta_w = 0.85$ Per Fe430

$\beta_w = 0.90$ Per Fe510

Esempio

Dati:



N_{Ed}
4 Cordon
(per lato)
Lamiera

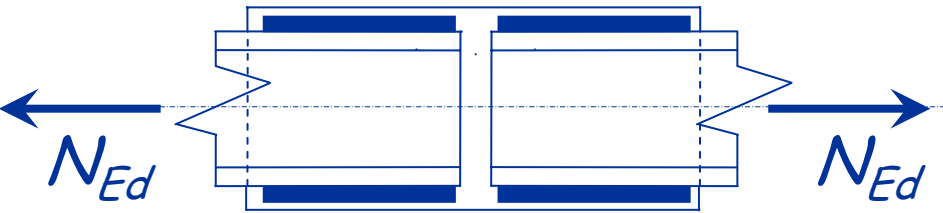
150 kN
 $a = 3 \text{ mm}$
 $L = 80 \text{ mm}$
Fe360

1 - Determinazione di $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{Mw}} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0.80 \times 1.25} = 207.8 \text{ MPa}$$

Esempio

Dati:



N_{Ed}

150 kN

4 Cordon
(per lato)

$a = 3 \text{ mm}$

$L = 80 \text{ mm}$

Lamiera

Fe360

2 - Verifica

$$F_{v,Sd} = \frac{N_{Ed}}{n_c} = \frac{150}{4} = 37.5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} < a L f_{vw,d} = \frac{3 \times 80 \times 207.8}{10^3} = 49.9 \text{ kN}$$

$$f_{vw,d} = 207.8 \text{ MPa}$$

Il collegamento è verificato

Verifica di cordoni di saldatura (se si usa l'ellissoide di rotazione)

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Questo metodo è più complesso perché richiede la valutazione delle diverse componenti di tensione sulla sezione di gola.