SISTEMI DI UNIONE

Walter Salvatore

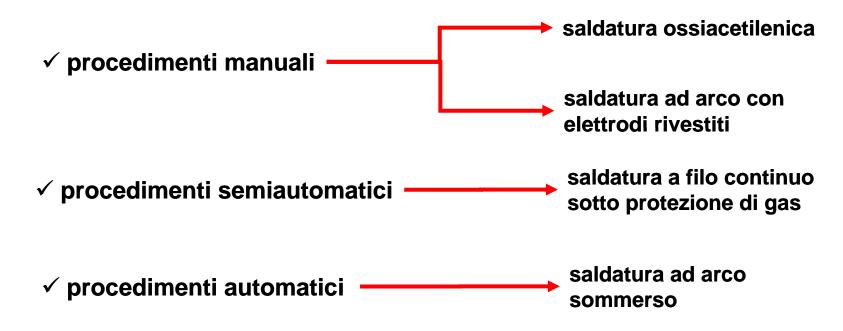


UNI EN ISO 4063

Procedimenti di saldatura

Le unioni realizzate mediante saldatura devono essere realizzate con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati.

I procedimenti di saldatura utilizzabili per unire elementi metallici possono essere classificati tenendo in conto del livello di automazione che si applica, distinguendo in questo modo



Controlli e qualifica della saldatura

EN 288-3, EN 12062

- ✓ L'entità ed il tipo di tali controlli sono definiti dal progettista, eseguiti sotto la responsabilità del direttore dei lavori
- ✓ I controlli potranno essere estesi o integrati che in funzione dell'andamento dei lavori
- ✓ Il collaudatore può accettare tali controlli ed eventualmente integrarli
- ✓ I metodi di controllo e qualifica si dividono in due categorie:

√ <u>metodi di superficie</u>: esame visivo

liquidi penetranti

polveri magnetiche

✓ metodi volumetrici: raggi X

raggi gamma

ultrasuoni

Controlli e qualifica della saldatura

EN 288-3, EN 12062

Esame visivo

Nei controlli con metodi visivi l'operatore può valutare la presenza di difetti superficiali sulla saldatura, la qualità della preparazione dei lembi ed il procedimento di saldatura utilizzato.

Tale metodo può essere utilizzato quando

- ✓ è possibile accedere ad una distanza della superficie < 60 cm e con una angolazione > 30°,
- ✓ e quando di ha a disposizione una illuminazione compresa tra 150 e 600 lux.

Quando non sono soddisfatte le ipotesi precedenti per l'esecuzione degli esami visivi, è necessario passare ad esami remotizzati in cui si utilizzano apparecchiature dotate di una risoluzione almeno equivalente a quella dell'occhio umano.

Indicazione

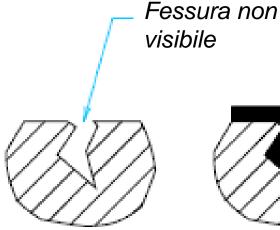
visibile

Controlli e qualifica della saldatura

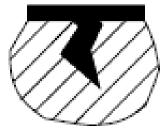
EN ISO 3452, EN 288-3, EN 12062

Esame con liquidi penetranti

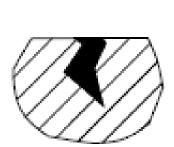
La tecnica sfrutta la capacità di alcuni liquidi di penetrare per capillarità all'interno dei difetti superficiali. Il metodo e suddiviso in 4 fasi:



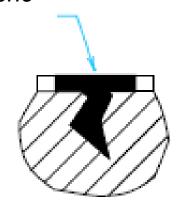
1.Pulitura della superficie



2. Applicazione del liquido penetrante



3. Rimozione quantità in eccesso con acqua fredda



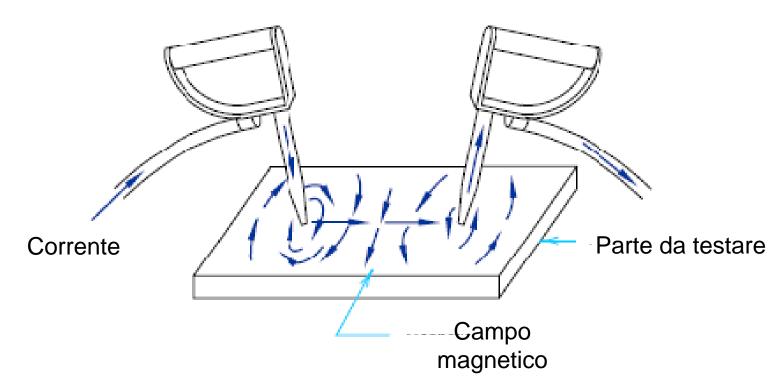
4. Applicazione del "rivelatore" capace di produrre una indicazione visibile del difetto

Controlli e qualifica della saldatura

UNI EN 8930, UNI EN 8375, UNI EN 1291, UNI EN 1290

Esame con particelle magnetiche

L'oggetto da testare è magnetizzato per cui le discontinuità trasversali al campo magnetico (difetti) determinano una deviazione delle linee di flusso del campo magnetico stesso, rilevata utilizzando polveri ferromagnetiche.



Controlli e qualifica della saldatura

UNI EN 8930, UNI EN 8375, UNI EN 1291, UNI EN 1290

Esame con metodi radiografici

Tali metodi si basano sulle alterazioni che le radiazioni elettromagnetiche subiscono incontrando un difetto nel loro percorso all'interno del materiale.

- ✓ Sono utilizzati raggi X o raggi gamma i quali attraversano il campione indagato
- ✓ I raggi impressionano una lastra fotografica con un immagine bidimensionale in scala di grigi
- ✓ Dall'immagine possono rilevarsi: variazioni di spessore, densità, o di composizione del pezzo
- ✓ La valutazione viene eseguita per confronto della densità radiografica con standard radiografici dello stesso oggetto di qualità accettabile

Una sola immagine bi-dimensionale non consente una completa individuazione della posizione del difetto all'interno del pezzo indagato per cui occorrono più immagini.

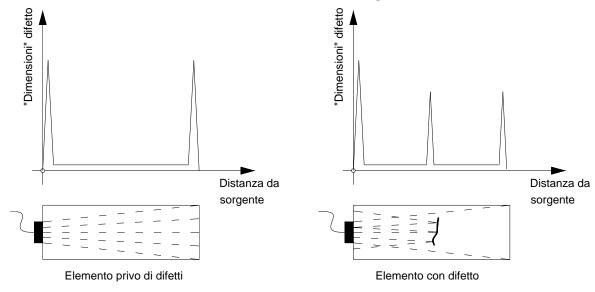
Controlli e qualifica della saldatura

UNI EN 583, UNI EN 12223, UNI EN 27963, UNI EN 473

Esame con metodi ultrasonici

Il metodo è simile a quello radiografico, però sfrutta il principio della riflessione delle onde.

- ✓ Un impulso ad alta frequenza è introdotto nel campione da esaminare
- ✓ La riflessione dell'onda sonora è prodotta dalle discontinuità presenti e dai bordi dell'elemento
- ✓ Le riflessioni sono rappresentate su un diagramma opportuno



Classificazione della saldatura

Le saldature possono essere classificate secondo differenti criteri: in base al procedimento di saldatura, ed in base alla forma.

Classificazione in base al procedimento di saldatura



la **saldatura per fusione** è effettuata senza l'applicazione forze esterne; le superfici da saldare devono essere fuse, con o senza l'impiego di metallo d'apporto.

la **saldatura con pressione** è effettuata con applicazione di forza esterna, sufficiente per produrre una deformazione plastica delle superfici a contatto, generalmente senza metallo di apporto. Le superfici da saldare possono essere riscaldate.

Classificazione in base alla forma



saldature a cordoni d'angolo saldature a piena penetrazione



saldature puntuali

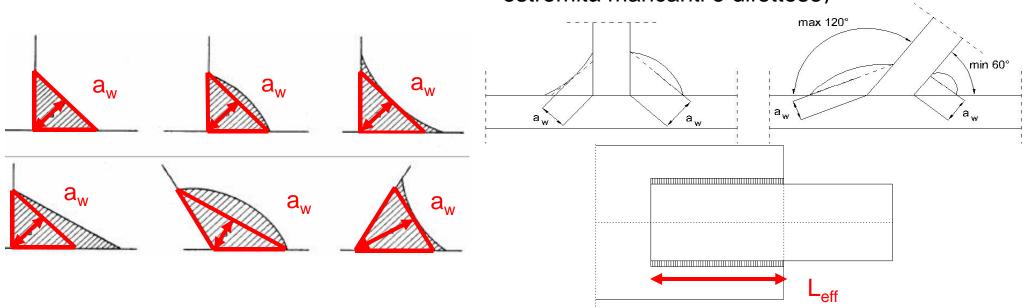
Geometria della saldatura

EN1993-1-8 (4.5.2)

Saldature a cordone d'angolo

- ✓ Assenza di penetrazione del materiale di fusione nello spessore degli elementi
- ✓ Elementi in acciaio formanti angoli compresi fra 60° e 120°

✓ Parametri geometrici: area di gola a_w e lunghezza effettiva del cordone I_{eff} (evitando estremità mancanti o difettose)



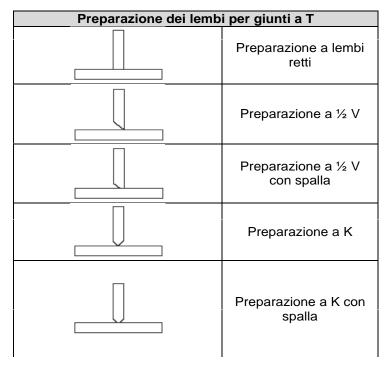
Geometria della saldatura

EN1993-1-8 (4.3.1), UNI EN 12345

Saldature a piena penetrazione

- ✓ Completa penetrazione e fusione del materiale base e del materiale di apporto attraverso
 lo spessore del collegamento tra i piatti di acciaio
- ✓ Necessità di preparare i lembi da unire smussandone uno od entrambi in modo opportuno

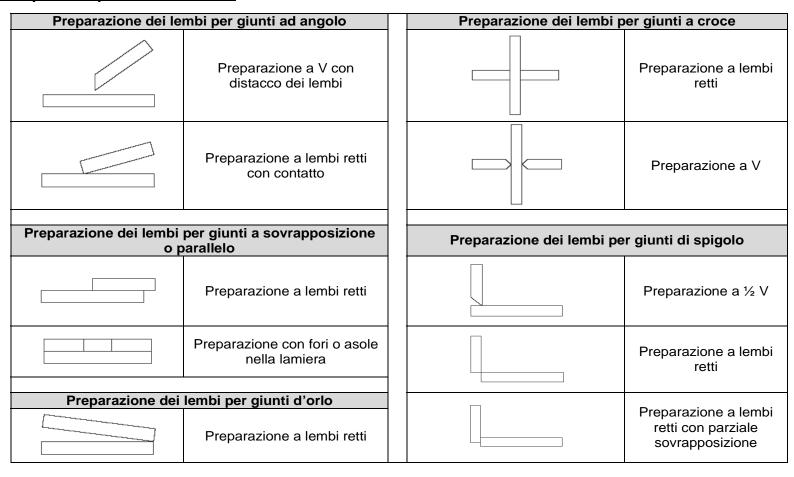
Preparazione dei lembi per giunti testa a testa								
	Preparazione a lembi retti							
	Preparazione a U							
	Preparazione a V							
Y	Preparazione a V con spalla (Y)							
	Preparazione a ½ V							
	Preparazione a ½ V con spalla							
	Preparazione a X							
	Preparazione a X con spalla (doppio K)							
	Preparazione a K							
	Preparazione a K con spalla							
	Preparazione a lembi rilevati							



Geometria della saldatura

EN1993-1-8 (4.3.1), UNI EN 12345

Saldature a piena penetrazione



Forma e tipo delle unioni

UNI EN 12345

Tipo di giunto	Tipo di saldatura	Preparazione lembi	
Giunto testa a testa: le parti giacciono nello stesso piano e sono a contatto.	Piena/parziale penetrazione, da una o entrambe le facce, con o senza ripresa al rovescio.	A lembi retti o rilevati, a V o ½V, ad X, ad Y, a K, con o senza spalla	
Giunto parallelo: le parti sono parallele fra loro.	In foro o in asola con saldatura continua perimetrale.	Foro o asola in una lamiera	
Giunto a sovrapposizione: le parti sono parallele fra loro e si sovrappongono	Piena penetrazione o a cordoni d'angolo	A lembi retti	
Giunto a T: le parti si incontrano ad angolo retto formando una T	Piena/parziale penetrazione, o a cordoni d'angolo, da una o entrambe le facce	A lembi retti (a contatto o meno), a V o ½ V, o K con o senza spalla	

Forma e tipo delle unioni

UNI EN 12345

Tipo di giunto	Tipo di saldatura	Preparazione lembi		
Giunto a croce: due elementi nello stesso piano incontrano un terzo elemento disposto perpendicolarmente fra loro, in modo da formare una doppia T.	Ambedue i lati a piena/parziale penetrazione, o a cordoni d'angolo	A K o a lembi retti a contatto		
Giunto ad angolo: una parte incontra l'altra sotto un angolo acuto.	Piena penetrazione	A V con distacco dei lembi o con lembo retto a contatto		
Giunto di spigolo: le parti si incontrano in corrispondenza degli spigoli formando un angolo da 0° a 30°	Piena/parziale penetrazione da uno a da entrambi i lati.	A ½ V, o a lembi retti con o senza parziale sovrapposizione		

Forma e tipo delle unioni

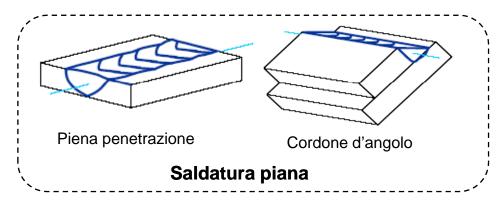
UNI EN 12345

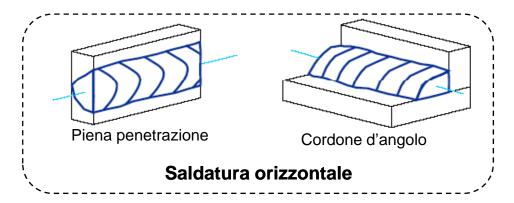
Tipo di giunto	Tipo di saldatura	Preparazione lembi		
Giunto d'orlo: le parti si incontrano in corrispondenza degli spigoli formando un angolo da 0° a 30°	Saldatura con ricoprimento totale dei due lembi.	A lembi retti		
Giunto multiplo: tre o più parti si incontrano sotto vari angoli.	Varie combinazioni	Varie combinazioni		
Giunto a croce di fili : due fili tondi a contatto e formano una croce				

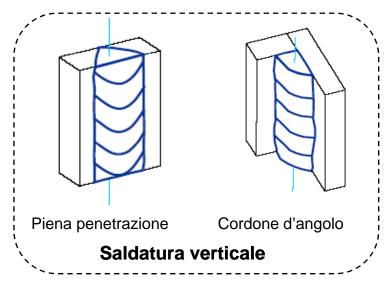
Posizioni di saldatura

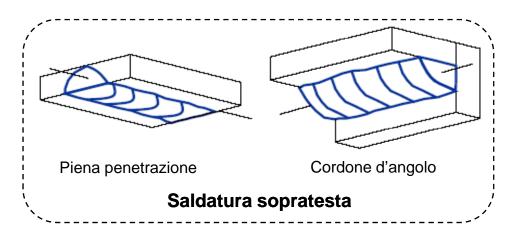
(AISC-Manual of steel construction, 1994)

Saldature a piena penetrazione ed a cordone d'angolo









Il materiale di apporto può essere depositato

Posizioni di saldatura

(AISC-Manual of steel construction, 1994)

più velocemente, potendo così utilizzare elettrodi più grandi e valori elevati di corrente

✓ Saldature piane ed orizzontali

Saldatura a cordone d'angolo in piano risulta circa 4 volte più veloci delle saldature eseguite in verticale o sopratesta

✓ Saldature verticali e sopra-testa

Il diametro degli elettrodi non deve essere superiore a 4mm, per evitare la caduta per gravità del materiale d'apporto

Le saldature in piano o in orizzontale risultano più economiche rispetto alle saldature verticali o sopratesta, poiché più rapide e più comode da realizzare per gli operatori specializzati

Resistenza delle unioni a cordone d'angolo

EN1993-1-8 (4.5.3.2)

Metodo direzionale

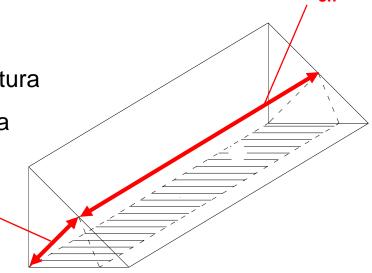
Si basa sulla scomposizione delle forze trasmesse al cordone di saldatura in componenti agenti normalmente e parallelamente alla direzione del cordone stesso.

L'area di gola di progetto complessiva della saldatura a cordone d'angolo è definita come

$$A_w = \sum_{i=1}^n a_{wi} l_{eff,i}$$

a_{w.i} è l'altezza di gola di ogni cordone costituente la saldatura

l_{eff,i} è la lunghezza di ogni cordone costituente la saldatura

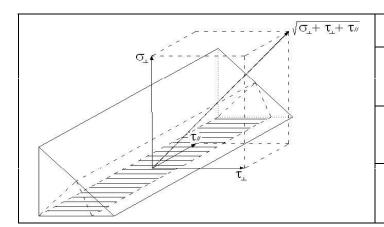


Resistenza delle unioni a cordone d'angolo

EN1993-1-8 (4.5.3.2)

Metodo direzionale

Dividendo le forze trasmesse alla saldatura per l'area di gola di progetto A_w si ottengono le tensioni normali e tangenziali agenti nel cordone



 σ_{\perp} : tensione normale agente ortogonalmente all'area di gola

 σ_{\parallel} : tensione normale agente parallelamente all'asse del cordone di saldatura (non viene considerata)

 au_{\perp} : tensione tangenziale (agente nel piano dell'area di gola), perpendicolare all'asse del cordone di saldatura

 au_{\parallel} : tensione tangenziale (agente nel piano dell'area di gola) parallelo all'asse del cordone di saldatura

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{//}^2 + \tau_{\perp}^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M}$$

Resistenza delle unioni a cordone d'angolo

EN1993-1-8 (4.5.3.3)

Metodo semplificato

Il metodo semplificato, permette la verifica della saldatura utilizzando la formula

$$F_{w,Ed} \le F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w \gamma_M} a_w$$

dove:

 $F_{w,Ed}$ è la risultante delle forze agenti sulla saldatura agente per unità di lunghezza del cordone d'angolo, mentre

F_{w,Rd} è la resistenza a taglio per unità di lunghezza del cordone.

Resistenza delle unioni a cordone d'angolo

EN1993-1-8 (4.5.3.2), EN 1993-1-1 (6.1)

Fattore parziale di sicurezza

Il fattore di sicurezza $\gamma_{\rm M}$ è assunto pari ad 1,25 sia per il metodo direzionale sia per il metodo semplificato

Fattore di riduzione

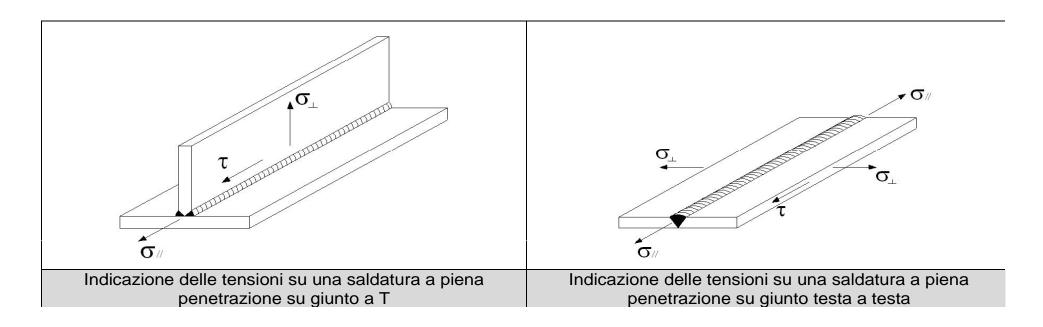
Il coefficiente di correzione β_w dipende dal tipo di acciaio costituente l'unione ed in unioni costituite da differenti classe, si deve considerare la classe di minori proprietà meccaniche

Classe di a	Fattore di	
EN 10025	EN 10210	correlazione β _w
S235 S235W	S235H	0,8
S275 S275N/NL-M/ML	S275H S275NH/NLH	0,85
\$355 \$355N/NL \$355M/ML \$355W	S355H S355NH/NLH	0,9
S420N/NL S420N/M/ML		1,0
S460N/NL S460M/ML S460Q/QL/QL1	S460NH/NLH	1,0

Resistenza delle unioni a piena penetrazione

EN1993-1-8 (4.7.1)

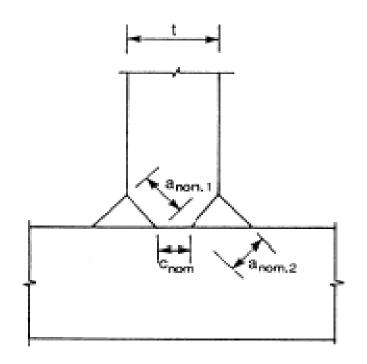
La resistenza di progetto di una saldatura a completa penetrazione, si considera pari alla resistenza del più debole tra i materiali base connessi dalla saldatura, utilizzando elettrodi e materiale d'apporto tali da avere tensioni di snervamento e rottura maggiori o uguali al materiale base



Resistenza delle unioni a parziale penetrazione

EN1993-1-8 (4.7.3)

L'unione a T tra due piatti realizzata con due parziali penetrazioni rinforzate con cordoni d'angolo può essere trattata come una piena penetrazione rispettando i seguenti requisiti geometrici



$$a_{nom,1} + a_{nom,2} \ge t$$

$$c_{nom} \le \min\left\{\frac{t}{5}; 3mm\right\}$$

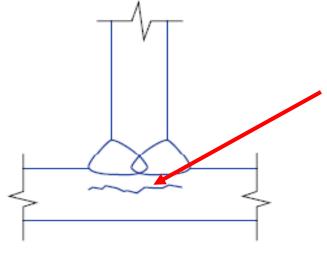
Nel caso in cui tali limitazioni non fossero soddisfatte la saldatura è calcolata a cordone d'angolo

Strappo lamellare

(AISC-Manual of steel construction, 1994)

Lo strappo lamellare è la separazione o frattura nel materiale base causato da deformazioni da ritiro indotte da procedimenti di saldatura a piena penetrazione

Negli acciai laminati a caldo, solfati o altre inclusioni possono creare lamelle nello spessore del piatto tali da ridurre la resistenza dell'acciaio per azioni applicate ortogonalmente allo spessore



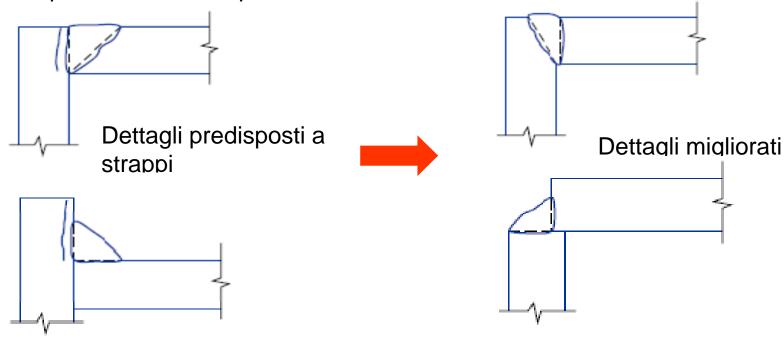
Lesione prodotta dal ritiro indotta da una grande saldatura a piena penetrazione

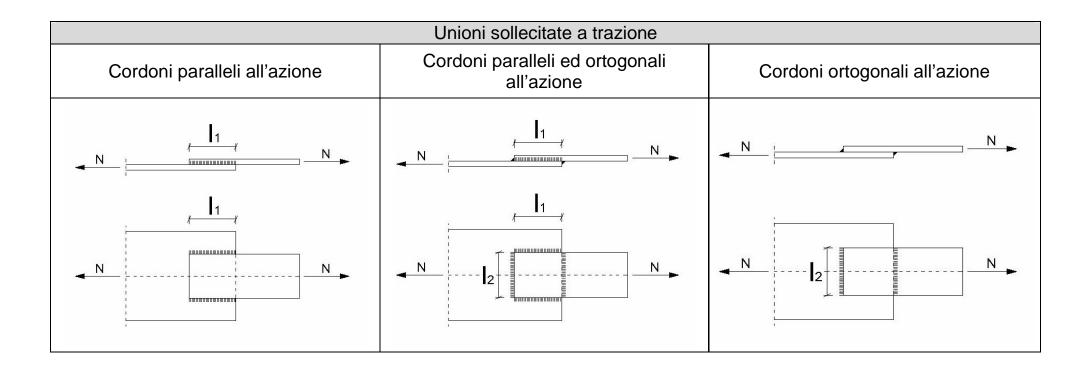
Strappo lamellare

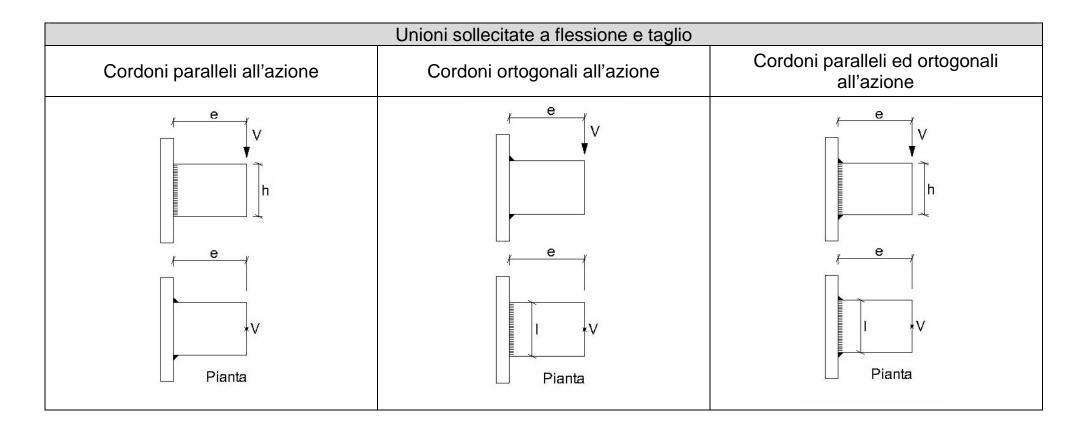
(AISC-Manual of steel construction, 1994)

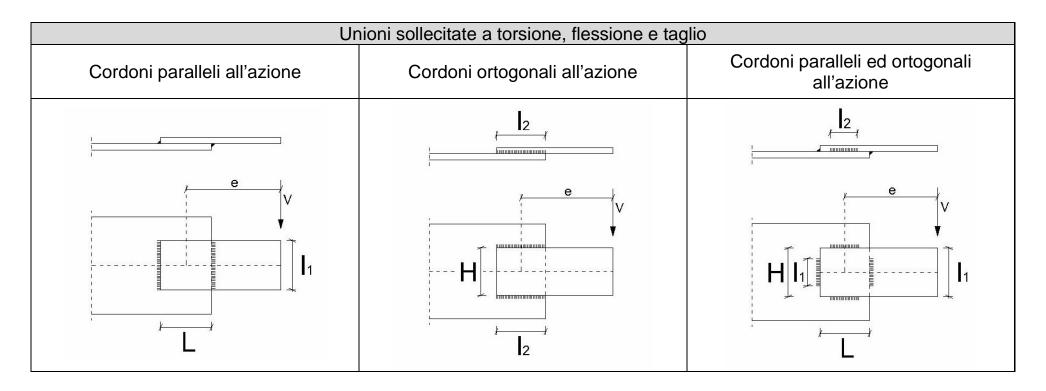
La probabilità di avere strappi lamellari può essere ridotta:

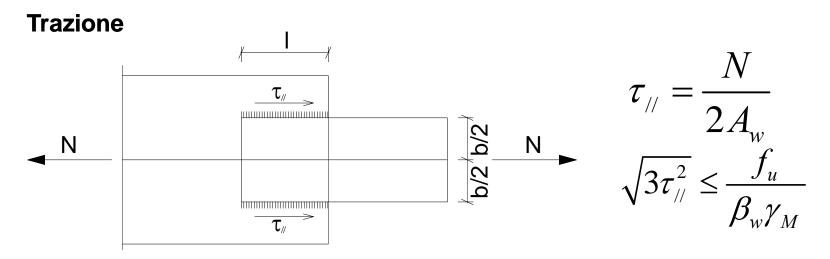
- ✓ riducendo le dimensioni della saldatura ed utilizzando dettagli migliorati
- ✓ indicando un procedimento di saldatura tale da ridurre i fenomeni di ritiro
- ✓ utilizzare processi di saldatura con basso contenuto di idrogeno
- ✓ utilizzare il pre-riscaldo delle parti da unire

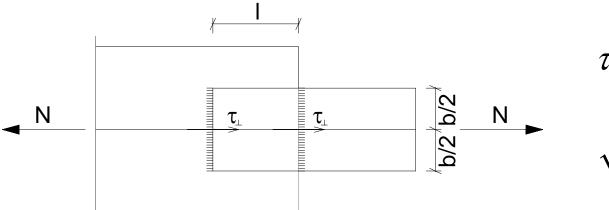










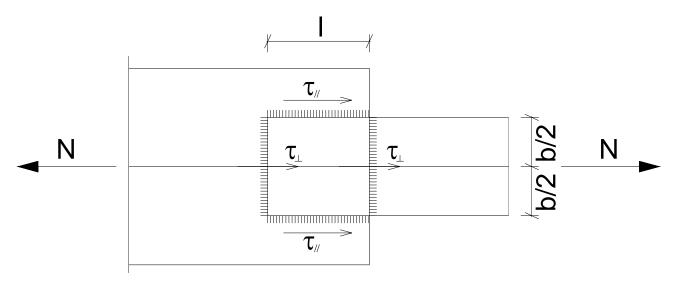


$$\tau_{\perp} = \frac{N}{2A_{w}}$$

$$\sqrt{3\tau_{\perp}^{2}} \leq \frac{f_{u}}{\beta_{w}\gamma_{M}}$$

Sollecitazioni agenti sulle unioni saldate a cordoni d'angolo

Trazione



per i cordoni paralleli all'azione:
$$N_1=N\frac{2A_{w1}}{2(A_{w1}+A_{w2})} \rightarrow au_{//}=\frac{N_1}{2A_{w1}}$$

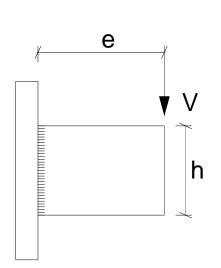
$$\sqrt{3\tau_{//}^2} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M}$$

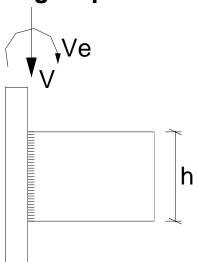
per i cordoni ortogonali all'azione:
$$N_2=N\frac{2A_{w2}}{2(A_{w1}+A_{w2})} \to au_\perp=\frac{N_2}{2A_{w2}}$$

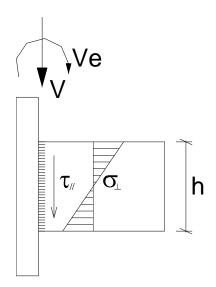
$$\sqrt{3\tau_{\perp}^2} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M}$$

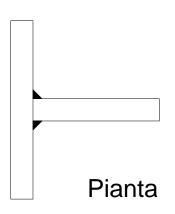
Sollecitazioni agenti sulle unioni saldate a cordoni d'angolo

Flessione e taglio – cordoni d'angolo paralleli all'azione









$$\tau_{//} = \frac{V}{2A_{w}}$$

$$\sigma_{\perp \max} = Ve \frac{3}{ah^2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp \max}^2 + 3\tau_{//}^2} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_M}$$

Classificazione delle unioni con organi meccanici

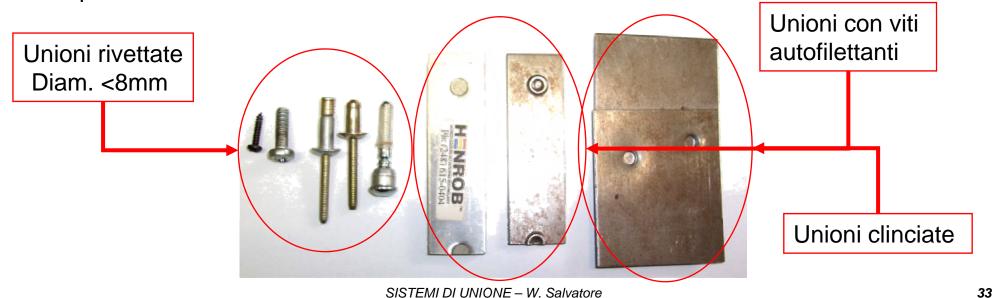
Le unioni con organi meccanici trovano il loro impiego nell'ingegneria civile, nell'ingegneria meccanica ed aeronautica e nell'ingegneria automobilistica.

In generale si possono raggruppare le unioni bullonate nelle seguenti categorie:

- ✓ Unioni elementari per carpenteria leggera
- ✓ Unioni elementari di ancoraggio
- ✓ Unioni elementari per carpenteria pesante

Unioni elementari per carpenteria leggera

- ✓ Caratterizzate da spessori esigui delle lamiere congiunte
- ✓ Larga diffusione organi meccanici di derivazione aeronautica o del settore automotive, capaci di trasmettere prevalentemente sollecitazioni di taglio.
- ✓ I rivetti sono molto utilizzati, se non i più diffusi, sia per le ridotte dimensioni (d<8 mm) sia per il processo di ribattitura eseguito a freddo.
- ✓ Si utilizzano anche viti autofilettanti sia connessioni "clinching" (connessione per pura plasticizzazione dell'elemento e delle lamiere a contatto



Unioni elementari di ancoraggio

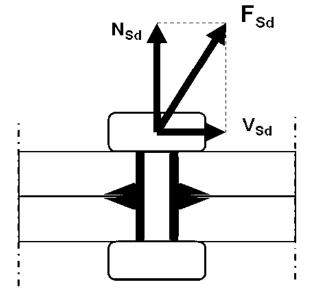
Le unioni elementari realizzate con organi meccanici trovano largo impiego anche come sistemi di ancoraggio a costruzioni esistenti sia in cemento armato che in muratura: tasselli (chimici e meccanici) e tirafondi.

- ✓ Tasselli chimici: la tenuta è garantita da adesivi epossidici
- ✓ Tasselli meccanici: la tenuta sfrutta l'attrito prodotto sulla superficie laterale e/o alla punta a seguito dell'espansione nel foro.
- ✓ Tirafondi: costituiti da barre filettate dotate di un allargamento di estremità, si differenziano dai tasselli poiché vengono messi in opera prima del getto del cls.



Unioni elementari per carpenteria pesante

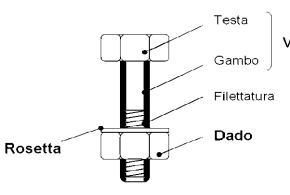
- ✓ Bulloni sono gli organi meccanici impiegati per le strutture in carpenteria metallica. Grazie alla loro morfologia dotata di due teste di estremità, sono capaci di trasmettere sia sollecitazioni semplici di trazione e taglio che sollecitazioni composte.
- ✓ Consentono di realizzare sistemi strutturali reversibili.
- ✓ Le operazioni di assemblaggio risultano molto semplici e per questo possono avvenire senza personale specializzato e senza immettere nell'ambiente circostante sostanze nocive.

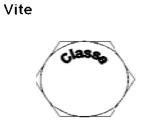




Sistemi di unione – Unioni Bullonate

Caratteristiche dei bulloni: geometria



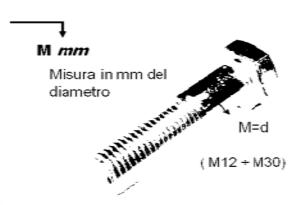


Nomenclatura Bulloni

Classe di resistenza

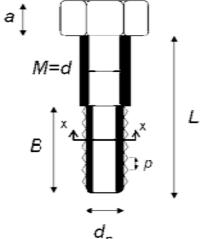
Classe X.Y

- Rottura f_{ab} = X · 100 (MPa)
- Snervamento $f_{yb} = X \cdot Y \cdot 10$ (MPa)

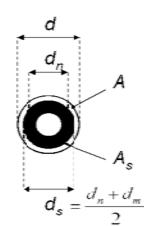


Le proprietà geometriche dei bulloni sono essenzialmente rappresentate dal:

diametro lordo (M o d); dimensione della testa (s); lunghezza del gambo (L); filettatura (B).







dove

M=d è il diametro nominale o lordo del bullone

 d_s è il diametro resistente

d_o è il diametro del nocciolo

 d_m è il diametro medio tra d e d_n

A è l'area lorda del bullone

A_s è l'area resistente (trazione)

N.B.

 d_n e d_m sono funzione del passo p della filettatura $A_s \cong 0.75 \cdot A$

M - d (mm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39
A_s (mm²)	8,8	20,1	36,6	58	84,3	115	157	192	245	303	353	459	561	@4	sı-	9*6

Caratteristiche dei bulloni: resistenza e pre-serraggio

UNI EN ISO 898, EN1090-1

Resistenza dei bulloni

	Classe di resistenza						
Proprietà meccaniche	Bulloni Normali				Bulloni ad alta resistenza		
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
Tensione di snervamento f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
Tensione ultima a trazione f_{ub} (N/mm ²) $R_{m,nom}$ (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Pre-serraggio

- ✓ I bulloni ad alta resistenza devono essere impiegati qualora si voglia sfruttare l'attrito tra le piastre a contatto per il trasferimento delle azioni (unioni ad attrito).
- ✓ In questo caso occorrono elevati sforzi di serraggio e quindi acciai con un più alto tenore di carbonio opportunamente trattati termicamente.

Caratteristiche dei bulloni: resistenza e pre-serraggio

UNI EN ISO 898, EN1090-1

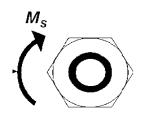
Per non pregiudicare la capacità portante del bullone occorre che lo sforzo di pretrazione induca uno stato tensionale non maggiore al 70% della tensione ultima a trazione.

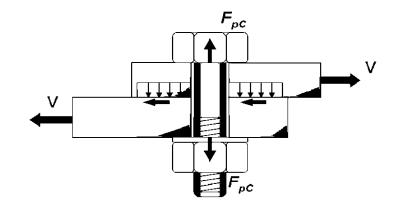
La forza di pre-carico da utilizzarsi è pari a

$$F_{p,C} = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_{S}$$

mentre la coppia di serraggio è pari a

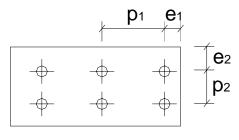
$$M_{\rm S} = 0.2 \cdot d \cdot F_{p,C}$$

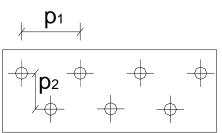


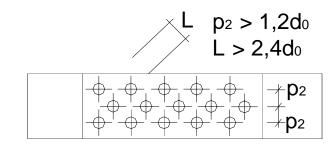


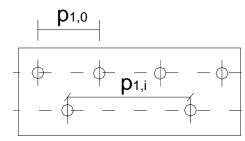
Posizionamento dei bulloni

EN1993-1-8 (3.5)









		Massimi			
Distanze e spaziature	Minimi	Acciai conformi al	Acciai conformi alla EN 10025-5		
		Acciai esposti a cause di corrosione	Acciai non esposti a cause di corrosione	Acciai posti in opera non protetti	
e_1	$1,2 d_0$	4 t + 40 mm	-	max {8 t; 125 mm}	
e_2	$1,2 d_0$	4 t + 40 mm	-	max {8 t; 125 mm}	
e_3	$1,5 d_0$	-	-	-	
e_4	$1,5 d_0$	-	-	-	
p_1	$2,2 d_0$	min {14 t; 200 mm}	min {14 t; 200 mm}	min {14t _{min} ; 175 mm}	
$p_{1,0}$	-	min {14 t; 200 mm}	-	-	
$p_{l,i}$	-	min {28 t; 400 mm}	-	-	
p_2	2,4 d ₀	min {14 t; 200 mm}	min {14 t; 200 mm}	min {14t _{min} ; 175 mm}	

Lavorazioni delle parti a contatto e tolleranze foro-bullone

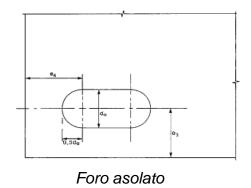
EN1090

Le superfici ed i bordi delle lamiere dovranno essere lavorate superficialmente se si vuole sfruttare l'attrito tra le parti.

Classe delle superfici di attrito	Lavorazione	Coefficiente di attrito (EN 1993-1-8)
Α	Superfici sabbiate	0,5
В	Superfici sabbiate e zincate	0,4
С	Superfici pulite con spazzola	0,3
D	Superfici non trattate	0,2

Prescritte tolleranze più alte per semplificare operazioni di montaggio, ciò comporta una riduzione del 15% della resistenza a taglio.

Maggiori libertà di manovra possono essere raggiunte con l'impiego di fori asolati.



 d_0 d $d_0 - d$

Tolleranze

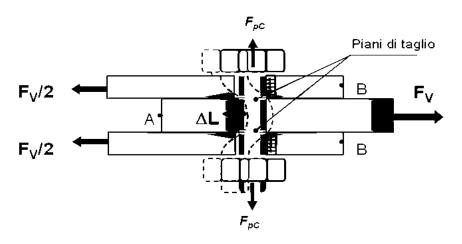
Categorie di connessioni bullonate e campi di applicazione

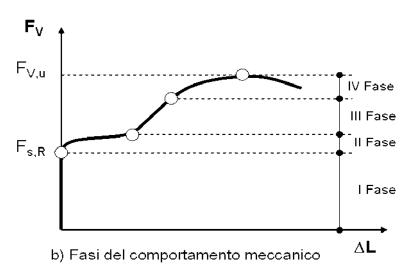
EN1993-1-8 (3.4)

Ai fini della valutazione della capacità portante l'Eurocodice 3 differenzia le connessioni bullonate in cinque diverse categorie prestazionali

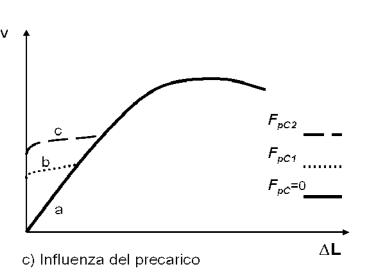
	Tipo	Categoria	Osservazioni	
ojli		A tipo portante	Non è richiesto precarico. Possono essere usati bulloni di classe da 4.6 a 10.9	
O B E UOIUD Fvsd/2	Vsa	B Resistente allo scorrimento in condizioni di servizio	Devono essere usati bulloni precaricati 8.8 o 10.9.	
		C Resistente allo scorrimento in condizioni ultime	Devono essere usati bulloni precaricati 8.8 o 10.9.	
Prisd/2 Fisd/2 Fisd/2 Fisd/2	D non-precaricato	Non è richiesto precarico. Possono essere usati bulloni di classe da 4.6 a 10.9		
	F _{tsd} /2 F _{tsd} /2	E precaricato	Devono essere usati bulloni precaricati 8.8 o 10.9.	
SISTEMI DI UNIONE – W. Salvatore				

Meccanismi di collasso e modelli di resistenza





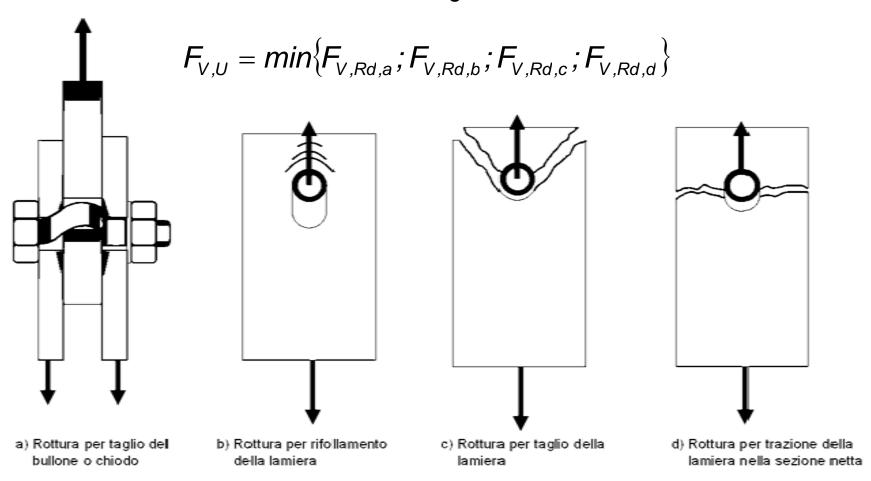
- ✓ *I fase*: scorrimento fra gli elementi collegati; la fase termina non appena viene raggiunta la resistenza allo scorrimento per attrito (Fs,R);
- ✓ II fase: brusco scorrimento della giunzione e ripresa del gioco foro-bullone;
- ✓ III fase: bullone viene sollecitato a taglio;
- ✓ *IV fase*: prime plasticizzazioni e comportamento dell'unione non lineare. Collasso dell'unione con resistenza ultima FV,u.



Meccanismi di collasso e modelli di resistenza

EN1993-1-8 (3.6)

La resistenza al collasso F_{V,u} corrisponde al meccanismo di collasso di minor resistenza tra i quattro meccanismi caratteristici delle unioni a taglio



Categorie di connessioni bullonate e campi di applicazione

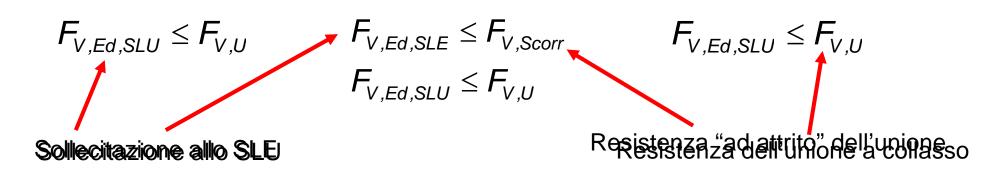
EN1993-1-8 (3.4)

- ✓ Categoria A: indicata qualora eventuali assestamenti dei collegamenti non compromettono la funzionalità della costruzione e/o fanno nascere stati di sollecitazione addizionali
- ✓ Categoria B: progettate in modo da lavorare per attrito in esercizio ed a taglio allo stato limite ultimo
- ✓ Categoria C: lavora sempre per attrito. Si richiedono per strutture ad alta duttilità impiegate in zona sismica. Il collasso dipende (capacity design) dalle membrature connesse.

Verifiche Categoria A

Verifiche Categoria B

Verifiche Categoria B



Resistenza a taglio del bullone

EN1993-1-8 (3.6.1)

In accordo ai modelli di capacità forniti dall'Eurocodice 3, la resistenza al taglio (F_{Rd,a}) del singolo bullone

$$F_{V,Rd,a} = \frac{\alpha_{v} \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

f_{ub}: resistenza ultima a trazione del bullone;

A: area del bullone per piano di taglio;

funzione del coefficiente α_{v} è quella di trasformare la resistenza a trazione dell'organo f_{ub} in una equivalente resistenza a taglio

Posizione dei piani di taglio	Classe dei bulloni	Coefficiente
- Collions doi plant at tagno	Glaces as Balletii	$lpha_{\scriptscriptstyle V}$
	4.6	0,6
Piani di taglio passanti per la	5.6	0,6
porzione filettata del gambo	6.8	0,5
della vite	8.8	0,6
	10.9	0,5
Piani di taglio passanti per la		
porzione non filettata del gambo della vite	Tutte le classi	0,6

Resistenza a rifollamento della lamiera

EN1993-1-8 (3.6.1)

In accordo al modello proposto dall'Eurocodice 3, la resistenza delle lamiere (F_{Rd,b}) si valuta in modo convenzionale attraverso la formula:

$$F_{V,Rd,b} = \frac{K_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k₁ è coefficiente di rifollamento il cui valore non può eccedere 2.5;

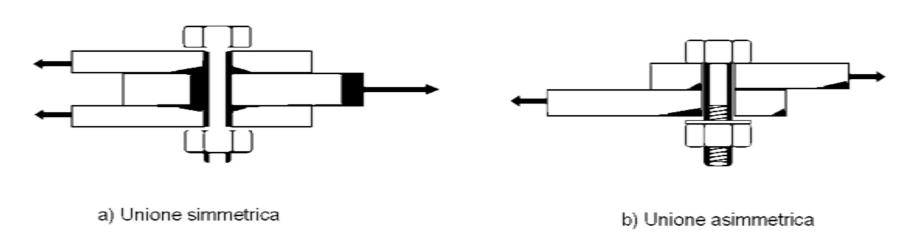
 $\alpha_{\rm b}$ è un coefficiente correttivo, valutato come il

$$\min \left\{ \alpha_{d}, \frac{f_{u,bullone}}{f_{u,lamiera}}, 1 \right\}$$

Coefficiente di rifollamento k_I				
File esterne di bulloni:	File interne di bulloni	Distanze valutate		
$k_1 = min\left\{2.5; 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7\right\}$	$k_1 = min\left\{2.5; 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7\right\}$	perpendicolarmente alla direzione della forza $(e_2 e p_2)$		
Coefficiente $lpha_d$				
Bulloni esterni	Bulloni interni	Distanze valutate		
$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$	$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$	parallelamente alla direzione della forza $(e_1 e p_1)$		

Resistenza a rifollamento della lamiera

- √ Coefficienti di rifollamento e correttivo ottenuti mediante formulazioni empiriche.
- \checkmark In particolare il coefficiente di rifollamento k_1 è funzione dei parametri di posizione definiti in direzione parallela alla forza di taglio e tiene in conto dell'effettivo fenomeno di plasticizzazione
- ✓ Una ulteriore riduzione del 25% della resistenza al rifollamento deve essere considerata nel caso si realizzi una unione non simmetrica, a causa del momento parassita



Resistenza a taglio della lamiera

EN1993-1-8 (3.5)

La rottura per taglio della lamiera è automaticamente soddisfatta rispettando i requisiti dimensionali imposti dall'Eurocodice 3 riguardo alla posizione dei fori rispetto ai bordi della lamiera

Resistenza a trazione della lamiera

EN1993-1-1 (6.2.3)

In accordo al modello proposto dall'Eurocodice 3, la resistenza delle lamiere (F_{Rd,d}) si valuta in modo convenzionale attraverso la formula:

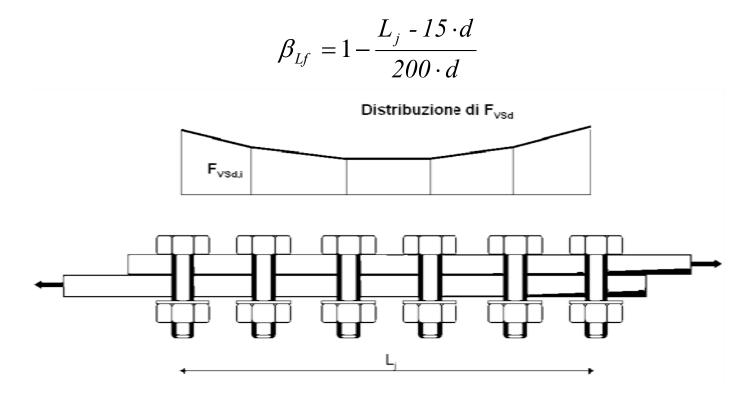
$$F_{V,Rd,d} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

A_{net} è l'area del piatto in acciaio impiegato nell'unione privata del foro del bullone f_u è la resistenza ultima dell'acciaio impiegato per il piatto

Resistenza a taglio per giunti lunghi

EN1993-1-8 (3.8)

Nel caso di un giunto la distanza tra l'estremità dei dispositivi di collegamento misurata nella direzione di trasferimento della forza è maggiore di 15 volte il diametro del bullone, si deve ridurre la resistenza di progetto a taglio $F_{V,U}$ di tutti i dispositivi attraverso il seguente coefficiente:



Resistenza ad attrito

EN1993-1-8 (3.9.1)

La resistenza per attrito $(F_{s,Rd})$ di una unione bullonata sottoposta a puro taglio è valutata convenzionalmente attraverso la seguente relazione, sia nel caso di collegamenti di categoria B che C

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

k_s è il coefficiente di forma del foro;

n è il numero di superfici di attrito o scorrimento;

μè il fattore di scorrimento.

Tipo di foratura	k s
Bulloni in fori normali.	1,0
Bulloni in fori sovradimensionati o in fori asolati corti con l'asse dell'asola perpendicolare alla direzione di trasferimento del carico.	0,85
Bulloni in fori asolati lunghi con l'asse dell'asola perpendicolare alla direzione di trasferimento del carico.	0,70
Bulloni in fori asolati corti con l'asse dell'asola parallela alla direzione di trasferimento del carico.	0,76
Bulloni in fori asolati lunghi con l'asse dell'asola parallela alla direzione di trasferimento del carico.	0,63

Resistenza ad attrito

EN1993-1-8 (3.9.2)

Il fattore di scorrimento μ è valutato per via sperimentale attraverso delle indagini di tipo standard. Si assumono valori tra 0.5 e 0.2 a seconda del trattamento superficiale degli elementi collegati.

In presenza di trazione $(F_{t,Ed})$, si deve ridurre la resistenza di progetto allo scorrimento ettraverse la acquenti relegioni

attraverso le seguenti relazioni

Porzione della trazione applicata all'unione trasferita al bullone

$$F_{s,Rd} = \frac{K_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,C} - 0.8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

Il meccanismo di trasferimento degli sforzi tra bullone e lamiera produce uno sforzo di trazione del gambo pari all'80% della trazione applicata all'unione $F_{t,Ed}$

Tipologia prestazionale	Coefficiente di sicurezza parziale	Valori raccomandati (EN 1993-1-8)
Resistenza della membrature strutturali nei confronti di:		
- Rottura della sezione da classe 1 a 4	γмо	1,00
- Fenomeni di instabilità	γм1	1,00
- Fratture delle sezioni tese indebolite da fori	γм2	1,25
Resistenza dei bulloni		
Resistenza dei chiodi, rivetti e viti	γм2	4.05
Resistenza del perno	7 M2	1,25
Resistenza delle piastre inflesse e/o a contatto		
Resistenza allo scorrimento		
- allo stato limite ultimo (Categoria C)	γм3	1,25
- allo stato limite di servizio (Categoria B)	γ _{M3,ser}	1,10
Resistenza a flessione di un bullone iniettato (tasselli chimici)	γм4	1,00
Resistenza di un giunto di una trave a traliccio a sezioni cave	7м5	1,00
Resistenza del perno allo stato limite di servizio	γM6,ser	1,00
Precarico o Serraggio di bulloni ad alta resistenza	7м7	1,10

Metodi di calcolo delle sollecitazioni

Le azioni prodotte sul singolo bullone da una azione di taglio applicate ad una unione possono essere calcolate utilizzando due differenti metodi.

✓ Metodo del centro di istantanea rotazione (Crawford, 1968)

Legge taglio-deformazione del bullone

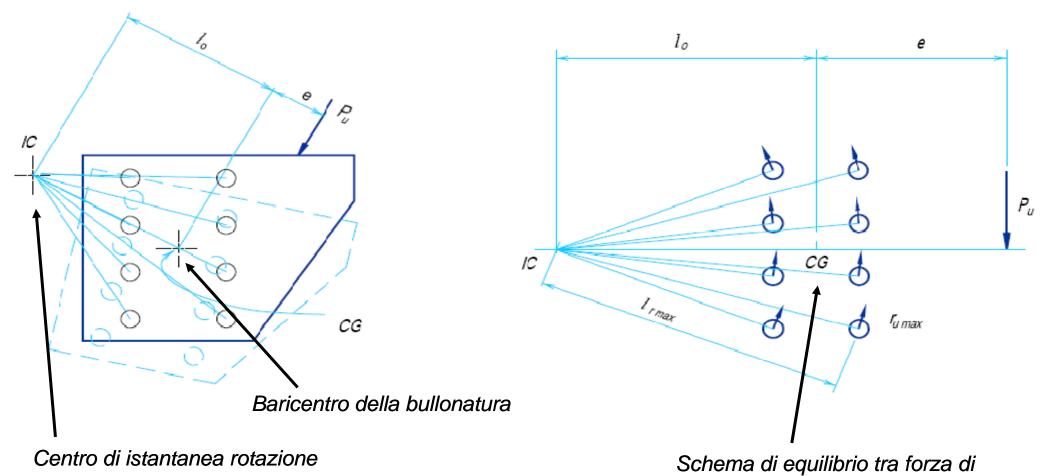
Forze di taglio eccentriche producono rotazioni rispetto ad un centro di istantaneo

✓ Metodo elastico (Higgins, 1971)

Ignorata deformazione del bullone

Le forze di taglio eccentriche sono riportate al baricentro della bullonatura

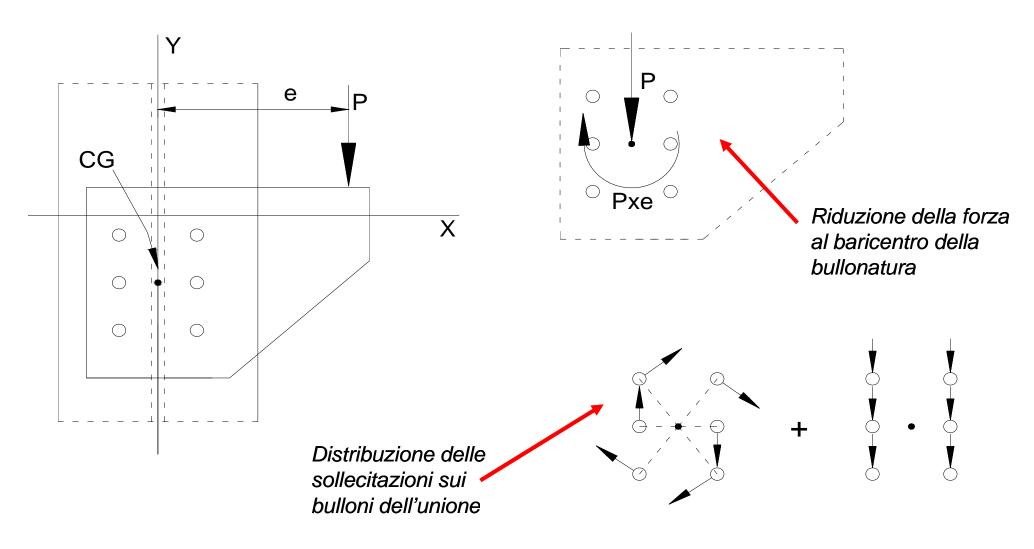
Metodi di calcolo delle sollecitazioni: Centro di istantanea rotazione



SISTEMI DI UNIONE - W. Salvatore

taglio e sollecitazioni nei bulloni

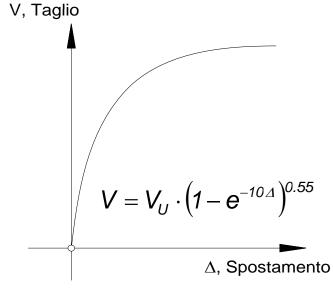
Metodi di calcolo delle sollecitazioni: Metodo elastico



Metodi di calcolo delle sollecitazioni

Metodo del centro di istantanea rotazione

- ✓ Il metodo di calcolo del centro di istantanea rotazione fornisce una valutazione più accurata del carico di collasso dell'unione.
- ✓ Per la sua applicazione deve essere impiegata una apposita legge carico-deformazione del bullone
- ✓ La distribuzione delle forze agenti interne all'unione deve essere calcolata con una procedura numerica opportuna



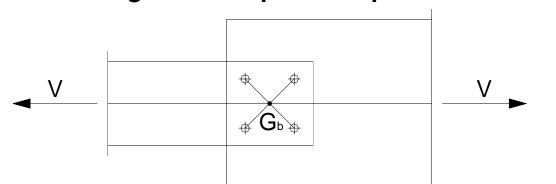
(AISC-Manual of steel construction, 1994)

Metodo elastico

- ✓ Il metodo elastico è un approccio più conservativo.
- ✓ Ignora però la ri-distribuzione delle sollecitazioni nell'unione e la sua duttilità.
- ✓ E' di facile utilizzo nella pratica progettuale

Esempi di calcolo delle sollecitazioni con il metodo elastico

Unione a taglio – forza passante per il baricentro della bullonatura

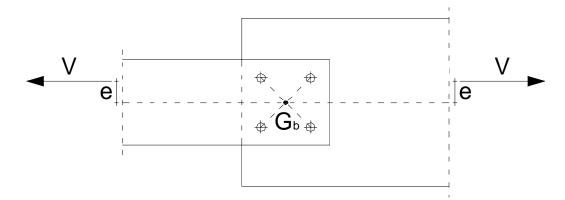


$$V_b = \frac{V}{n_b n_s}$$

V_b: taglio singolo bullone

n_b: numero bulloni, n_s: piani di taglio

Unione a taglio – forza non passante per il baricentro della bullonatura



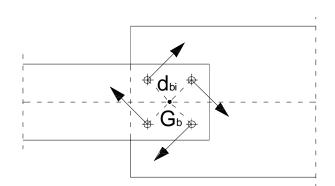
si deve riportare lo sforzo normale sull'asse baricentrico ed all'unione si deve applicare anche un momento di trasporto Mt = V X e

Esempi di calcolo delle sollecitazioni con il metodo elastico

Unione a taglio – forza non passante per il baricentro della bullonatura

La forza tagliante V si distribuisce sui bulloni come nel caso precedente della forza passante per il baricentro

Il momento torcente, nell'ipotesi di piastra indeformabile, si sostituisce con un sistema di forze



$$F_i = kd_{bi}$$

$$Ve = \sum_{i} F_{i} d_{bi} \quad \text{da cui: } k = \frac{Ve}{\sum_{i} d_{bi}^{2}}$$

$$V_{b,Mt} = F_{i} = M_{t} \frac{d_{bi}}{\sum_{i} d_{bi}^{2}}$$
SISTEMI DI UNIONE - W. Salvatore

$$V_{b,Mt} = F_i = M_t \frac{d_{bi}}{\sum d_{bi}^{2}}$$

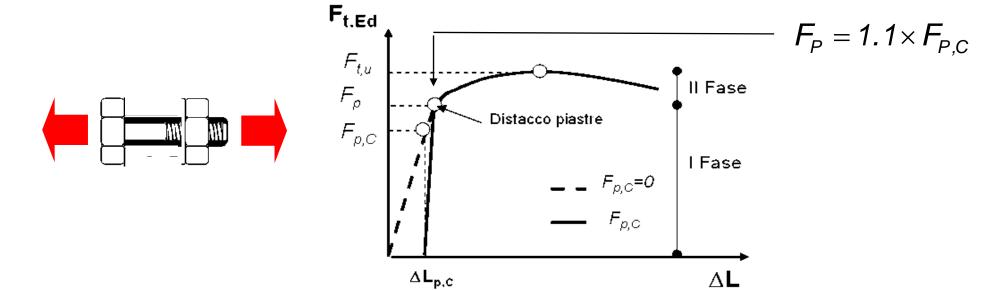
۸L

Meccanismi di collasso e modelli di resistenza

Comportamento sperimentale dell'unione a trazione soggetta ad un precarico del bullone di intensità pari a F_{p,C}, è possibile identificare le seguenti fasi:

I fase: applicazione del carico; solo un aliquota di circa il 10% si traduce in incremento di trazione nel gambo. Ciò si verifica sino al raggiungimento della forza di distacco delle lamiere (Fp).

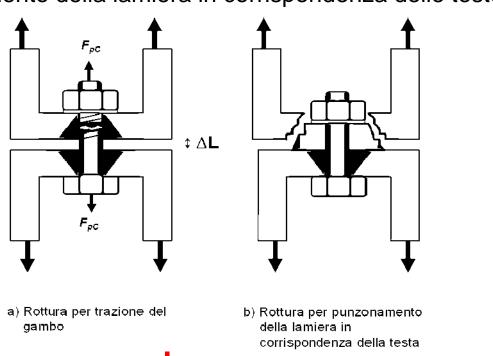
Il fase: a seguito del distacco tutto lo sforzo di trazione esterno è assorbito dal bullone fino al collasso dell'unione.



Meccanismi di collasso e modelli di resistenza

Per quanto riguarda i meccanismi di collasso l'unione a trazione può rompersi per:

- ✓ Rottura per trazione del gambo del bullone;
- ✓ Rottura per punzonamento della lamiera in corrispondenza delle teste del bullone o dado.



Il meccanismo di collasso risulta minore dei due possibili meccanismi

$$\longrightarrow$$
 $F_{T,U} = min\{F_{T,Rd,a}; F_{T,Rd,b}\}$

Categorie di connessioni bullonate e campi di applicazione

- ✓ Categoria D: non garantisce la tenuta delle lamiere a contatto, che potrebbero anche distaccarsi per livelli elevati di sollecitazione
- ✓ Categoria E: previsto un pre-carico controllato dei bulloni, necessariamente ad alta resistenza

Verifiche Categoria D

 $F_{T,Ed,SLU} \leq F_{T,U}$ Sollecitazione allo SLU

Verifiche Categoria E

$$F_{T,Ed,SLU} \leq F_{T,U}$$

Resistenza a collasso dell'unione

Meccanismi di collasso e modelli di resistenza

EN1993-1-8 (3.6.1)

Sulla base dei modelli di capacità forniti dall'Eurocodice 3 la resistenza di progetto a trazione del gambo del bullone

$$F_{T,Rd,a} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

fub è la resistenza ultima a trazione del bullone;

A_s è l'area ridotta del bullone;

k₂ è un coefficiente che dipende dal livello di serraggio e vale 0.63 nei bulloni presollecitati con chiave dinamometria e 0,9 negli altri casi.

Meccanismi di collasso e modelli di resistenza

EN1993-1-8 (3.6.1)

La resistenza al punzonamento della lamiera in corrispondenza del dado o della testa del bullone (B_{p,Rd}) può essere valutata attraverso il seguente modello

$$B_{p,Rd} = 0.60 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u$$

d_m diametro medio della testa del bullone o del dado (il minore fra i due);

t_D è lo spessore della piastra sotto il bullone o il dado;

f_u è la resistenza ultima a trazione della lamiera.

Metodi di calcolo delle sollecitazioni

Le unioni a trazione sono soggette ad azioni assiali e flettenti parallelamente al gambo dei bulloni che sono quindi tesi, e su cui le azioni vengono ripartite in base a metodi validati sperimentalmente.

La ripartizione delle azioni dipende dalla rigidezza della lamiera:

- ✓ lamiera rigida i bulloni sono tesi e privi di flessioni parassite, ed il collasso avviene per snervamento del bullone o punzonamento;
- ✓ lamiera deformabile il bullone è anche inflesso, ed il collasso avviene per snervamento del bullone, o per formazione di cerniere plastiche nella flangia.

Metodi di calcolo delle sollecitazioni

EN1993-1-8 (3.6.1)

Caso flangia rigida

- ✓ le trazioni sono assorbite dai bulloni;
- ✓ le compressioni sono assorbite per contatto;
- ✓ la distribuzione delle forze dipende dalla geometria dell'unione;
- √ i bulloni si verificano trascurando le flessioni parassite;
- √ la semplificazione è ammissibile se lo spessore delle flange ne garantisce la validità;
- ✓ è necessario verificare che in esse non venga superato il limite elastico.

Metodi di calcolo delle sollecitazioni

EN1993-1-8 (3.6.1)

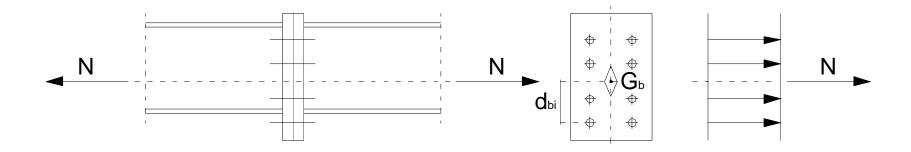
Caso flangia deformabile

- ✓la distribuzione delle forze sui bulloni dipende da geometria dell'unione e rigidezza della flangia
- ✓i bulloni si verificano considerando la flessione parassita nel gambo e la ridistribuzione degli sforzi a causa della plasticizzazione dei punti più sollecitati delle flange
- ✓il metodo di analisi va determinato caso per caso ricercando soluzioni equilibrate e compatibili con resistenza e deformabilità di bulloni e flange.

Esempi di calcolo con piastra rigida

EN1993-1-8 (3.6.1)

Forza passante per baricentro della bullonatura

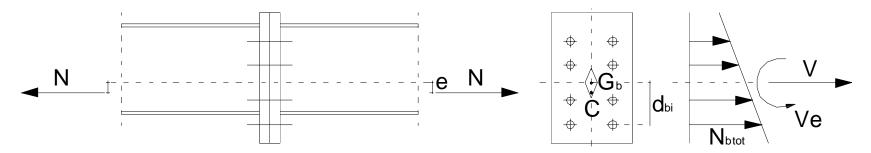


$$N_{b,N} = rac{N}{n_b}$$
 N trazione totale agente sull'unione numero dei bulloni trazione agente sul singolo bullone

Esempi di calcolo con piastra rigida

EN1993-1-8 (3.6.1)

Forza non passante per baricentro della bullonatura



$$N_{b,N} = \frac{N}{n_b}$$

$$N_{b,M} = \frac{Ne}{\sum d_{bi}^2} d_{bi}$$

$$N_{b,tot} = \frac{V}{n_b} + Ne \frac{d_{bi}}{\sum d_{bi}^2}$$

Ν

trazione totale agente sull'unione

 n_b

numero dei bulloni

 $N_{b,N}$

 $N_{b,M}$

 d_{bi}

trazione agente sul singolo bullone trazione agente sul singolo bullone distanza del bullone dal baricentro