

QUADERNI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE

5: UNIONI SALDATE – parte 1



Sommario

UNIONI SALDATE.....	3
1) ASPETTI GENERALI	3
2) I PROCESSI DI SALDATURA	4
3) CLASSIFICAZIONE DELLE SALDATURE	5
Rapporto tensione di snervamento materiale d'apporto e materiale base	5
Disposizione del giunto	5
Posizione rispetto allo stato di sollecitazione	6
Posizione del giunto rispetto all'operatore	6
Modalità di realizzazione	7
4) VERIFICA DELLE UNIONI SALDATE	11
Verifica giunti a completa penetrazione	11
Verifica giunti a parziale penetrazione.....	11
Verifica giunti a cordoni d'angolo	12
5) ESEMPI SVOLTI DI CALCOLO E VERIFICA DI GIUNTI SALDATI SECONDO LE NTC 2018	22
RIFERIMENTI NORMATIVI	25
CREDITS	27

UNIONI SALDATE

Le unioni saldate vengono impiegate per rendere continui più elementi in acciaio, grazie all'unione chimico-fisica conferita dal processo di saldatura, al fine di ottenere componenti strutturali o interi manufatti, talvolta anche molto complessi. L'unione viene garantita in maniera permanente dalla fusione del materiale che compone il materiale di base (che costituisce le parti da assemblare) e, a seconda della tecnica impiegata, anche del metallo d'apporto (introdotto allo stato fuso).

Le principali normative da seguire per la progettazione delle unioni saldate sono:

- D.M. 17 gennaio 2018 – *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC 2018)* [1];
- UNI EN 1993-1-8 [4] – *Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.*

1) ASPETTI GENERALI

- **Saldabilità del materiale di base:**
 - Profili aperti e prodotti piani: UNI EN 10025 [8], parti dalla 1 alla 6;
 - Profili cavi finiti a caldo UNI EN 10210-1 [9];
 - Profili cavi formati a freddo UNI EN 10219-1 [10].
- **Spessori limite dei materiali da saldare:**
 - Profili aperti: ≥ 4 mm, da NTC2018 (≥ 3 mm per strutture non esposte agli agenti atmosferici od opportunamente protette contro la corrosione);
 - Profili tubolari: $\geq 2,5$ mm, in accordo alla UNI EN 1993-1-8 [4];
 - Profili e lamiere sottili formati a freddo: è possibile fare riferimento alle indicazioni contenute al punto C4.2.12.1.7 della Circolare e alla UNI EN 1993-1-3 [3];
 - Spessori elevati: utili indicazioni per evitare problematiche relative agli strappi lamellari sono specificate nella UNI EN 1993-1-10 [6];
- **Caratteristiche del materiale di apporto:** non inferiori al materiale di base, per acciai di qualità fino a S460 (saldature overmatching).
- **Stato di sollecitazione:** utili riferimenti per le saldature di strutture soggette a fatica si possono trovare nella Circolare Applicativa delle NTC2018 e nella UNI EN 1993-1-9 [5].
- Utile confronto con il costruttore sulla fattibilità per valutazioni tecniche ed economiche.

2) I PROCESSI DI SALDATURA

La classificazione dei processi di saldatura è contenuta nella norma UNI EN ISO 4063 [11]. I procedimenti che vengono abitualmente utilizzati nei processi di costruzione della carpenteria sono riportati nella tabella seguente:

Classificazione EN 4063	Classificazione AWS	Descrizione
111	SMAW	Saldatura ad arco con elettrodo rivestito Processo manuale <i>Shielded Metal Arc Welding</i>
121	SAW	Saldatura ad arco sommerso con filo elettrodo Processo automatico <i>Submerged Arc Welding</i>
131	GMAW	Saldatura ad arco in gas inerte con filo fusibile elettrodo MIG Processo semi-automatico <i>Gas Metal Arc Welding</i>
135	GMAW	Saldatura ad arco in gas protettivo attivo con filo elettrodo fusibile MAG Processo semi-automatico <i>Gas Metal Arc Welding</i>
136	FCAW	Saldatura con filo animato sotto protezione di gas MAG Processo semi-automatico <i>Fluxed Cored Arc Welding</i>
141	GTAW	Saldatura con elettrodo infusibile sotto protezione di gas inerte TIG Processo manuale <i>Gas Tungsten Arc Welding</i>

Tab.1 – Classificazione delle unioni saldate in funzione della disposizione dei pezzi da unire

Fra i processi sopra elencati l'unico che può essere impiegato per le saldature in cantiere, grazie alla sua versatilità e all'esigua attrezzatura necessaria, è la saldatura ad arco con elettrodo rivestito: essendo un procedimento manuale, la produttività risulta relativamente bassa rispetto agli altri processi.

Per approfondimenti sui processi di saldatura è possibile consultare la sezione web dedicata sul sito www.promozioneacciaio.it al seguente link:

[Processi di saldatura per le strutture in carpenteria metallica](#)

3) CLASSIFICAZIONE DELLE SALDATURE

È possibile classificare le unioni saldate in base a differenti criteri alcuni dei quali vengono presentati in seguito. Per un maggiore approfondimento delle tipologie di saldatura è possibile fare riferimento alla norma UNI EN ISO 17659:2006 [13] – *Saldatura - Lista multilingue dei termini relativi ai giunti saldati, con illustrazioni.*

Rapporto tensione di snervamento materiale d'apporto e materiale base

- **Undermatching**, se il rapporto è inferiore all'unità;
- **Matching**, se il rapporto è circa pari all'unità;
- **Overmatching**, se il rapporto è superiore all'unità.

Le NTC2018 al punto 11.3.4.5 prescrivono che le caratteristiche di duttilità, di snervamento e di resistenza della saldatura e della zona alterata termicamente non siano inferiori a quelle del materiale base (matching e overmatching). È importante sottolineare che le NTC (§4.2.1) attualmente consentono l'impiego di acciai strutturali con qualità non superiori alla S460.

La UNI EN 1993-1-12 [7] ammette il ricorso a saldature undermatching nel caso di saldature tra acciai ad alta resistenza di grado superiore all'S460 e fino al grado S700, le quali presentano infatti una maggiore duttilità e una minore difettosità rispetto a quelle overmatching.

Disposizione del giunto

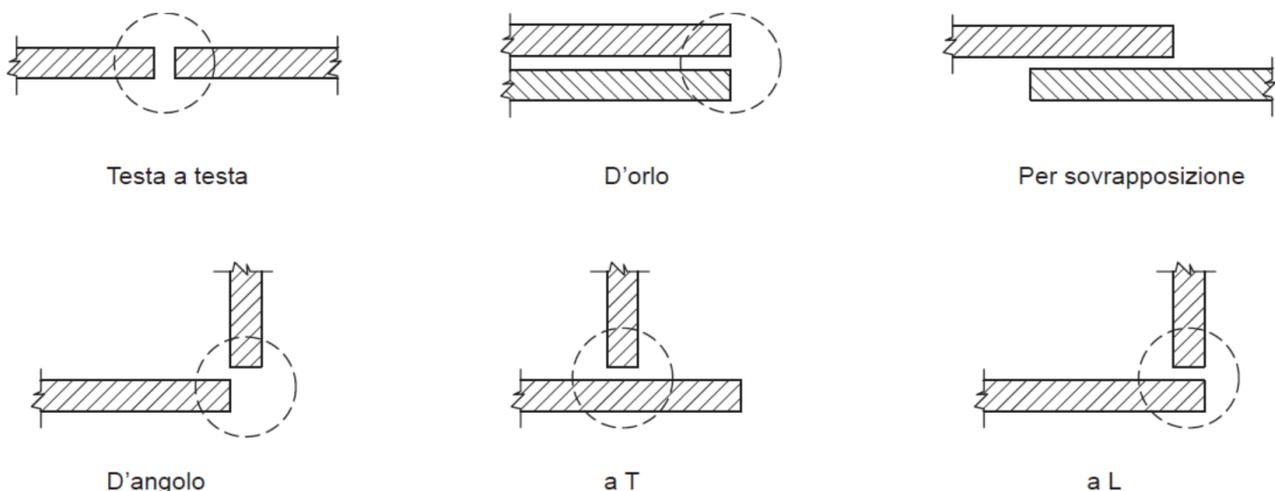


Fig. 1 – Classificazione delle unioni saldate in funzione della disposizione dei pezzi da unire

La scelta della tipologia del giunto viene fatta in base allo sforzo da sopportare e trasferire, tenendo in debito conto i fattori economici e realizzativi.

A titolo di esempio, per trasmettere trazione è possibile impiegare un giunto testa a testa, realizzabile a piena o parziale penetrazione, oppure un giunto per sovrapposizione a cordoni d'angolo. A livello statico il giunto migliore risulta essere quello testa a testa, poiché il giunto per sovrapposizione presenta problematiche legate all'eccentricità; se tuttavia l'entità degli sforzi è ridotta, risulta più vantaggioso a livello economico realizzare comunque il giunto per sovrapposizione a cordoni d'angolo, perché molto più semplice da realizzare.

Posizione rispetto allo stato di sollecitazione

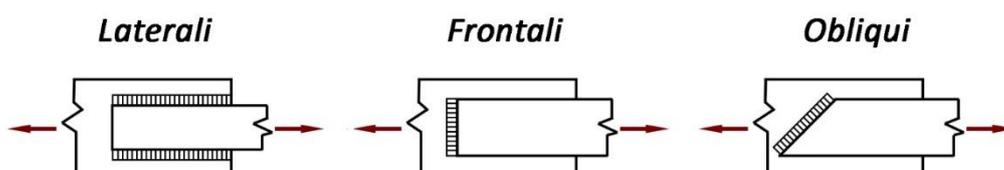


Fig.2 – Classificazione delle unioni saldate in funzione della posizione rispetto allo stato di sollecitazione

È altrettanto importante avere la consapevolezza della posizione dei giunti rispetto allo stato di sollecitazione perché in funzione della disposizione dei giunti si ottengono differenti sollecitazioni che vanno a ripartirsi sugli elementi.

Posizione del giunto rispetto all'operatore

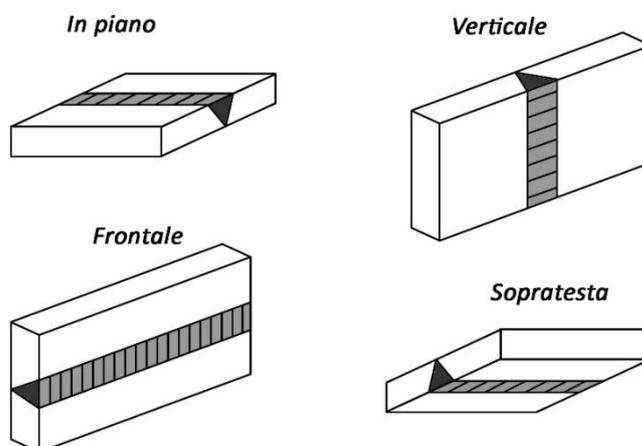


Fig.3 – Classificazione delle unioni saldate in funzione della posizione del giunto rispetto all'operatore

- 1) **saldature in piano**, in cui le passate vengono depositate su superfici orizzontali, le più semplici da realizzare;
- 2) **saldature in frontale**, eseguite su un piano verticale con andamento delle passate orizzontale;
- 3) **saldature in verticale**, in cui le passate vengono depositate su un piano verticale con andamento verticale, meno semplice da eseguire rispetto alle saldature in piano;
- 4) **saldature in sopratesta**, in cui se le passate devono essere depositate su un piano orizzontale giacente al di sopra della testa dell'operatore, le meno semplici da eseguire.

Modalità di realizzazione

- saldature a completa penetrazione;
- saldature a parziale penetrazione;
- saldature a cordone d'angolo.

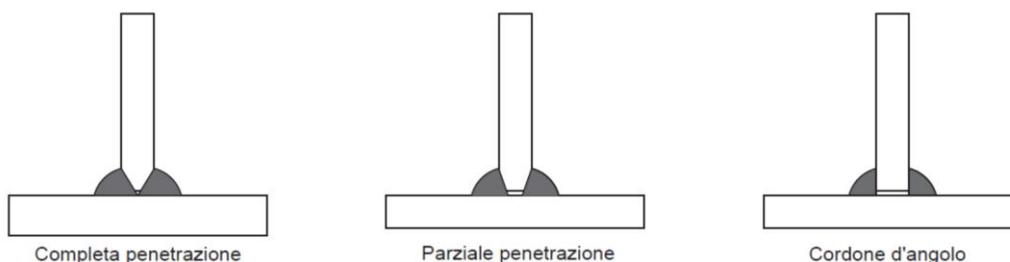


Fig. 4 – Classificazione delle unioni saldate in funzione delle modalità di realizzazione

Saldature a completa penetrazione

Generalmente le più costose perché richiedono una preparazione degli elementi (cianfrinatura dei lembi), per poter garantire la fusione nell'intero spessore del materiale.

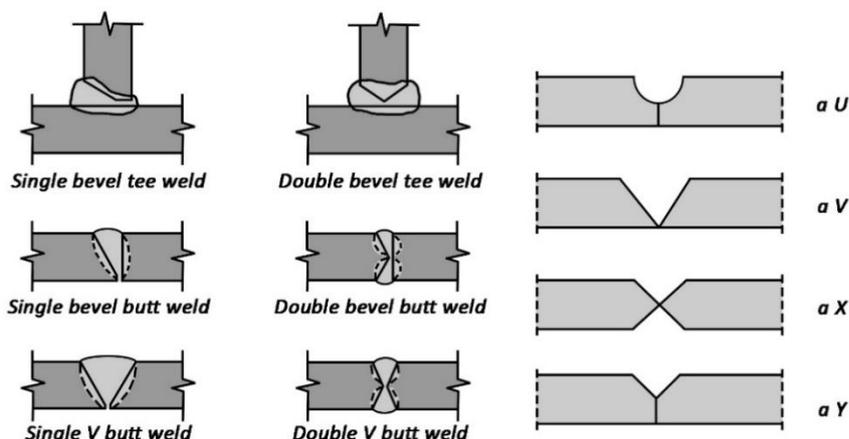


Fig. 5 – Giunti a completa penetrazione: principali tipologie di preparazione dei lembi

I parametri geometrici della preparazione dei pezzi sono l'angolo di smusso α , la sua profondità d , la spalla rettilinea s e la distanza fra i lembi g .

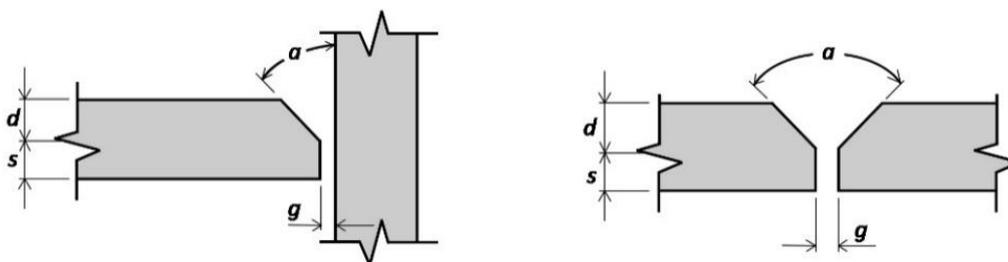


Fig. 6 – Parametri geometrici della preparazione dei lembi

In alcuni casi è possibile evitare la cianfrinatura per elementi di spessori contenuti ($t \leq 5 \text{ mm}$) e posti ad una sufficiente distanza.

Saldature a parziale penetrazione

Assenza della completa fusione nello spessore del materiale, che permette di non avere la necessità di una completa cianfrinatura dell'elemento (risparmio dal punto di vista economico), a scapito di una riduzione di resistenza del giunto.

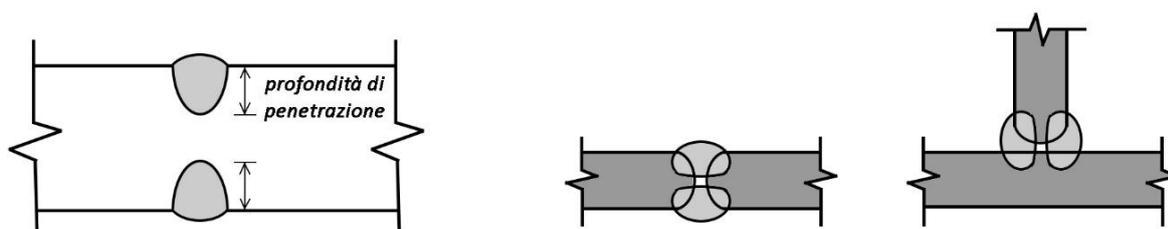


Fig.7 – Giunti a parziale penetrazione

In genere, la convenienza dell'impiego di una tipologia di realizzazione piuttosto che un'altra è da valutare caso per caso. A tal proposito è importante confrontarsi preventivamente con la carpenteria metallica.

Saldature a cordoni d'angolo

Le saldature a cordoni d'angolo sono caratterizzate dall'assenza di penetrazione del materiale di fusione nello spessore degli elementi. Il collegamento tra due elementi non avviene infatti in maniera diretta ma tramite la fusione di due facce contrapposte ad un cordone di saldatura.

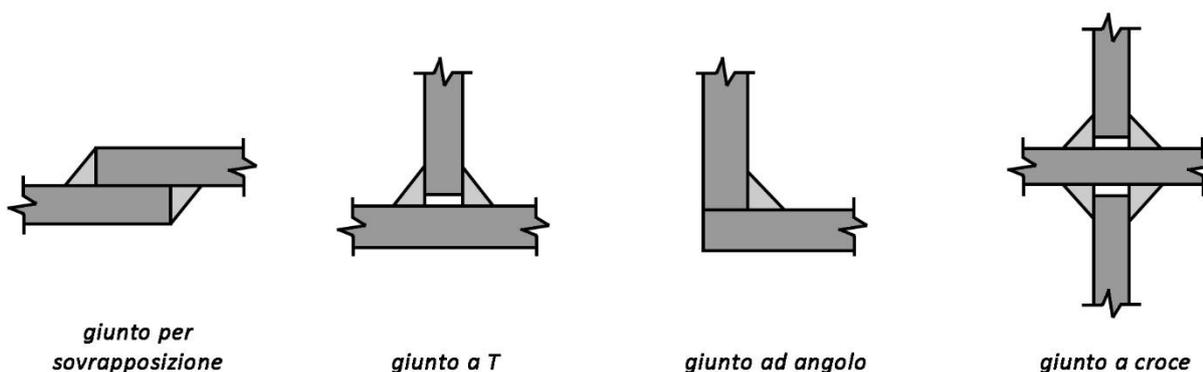


Fig.8 – Giunti a cordoni d'angolo

Sono predilette nella prassi (statisticamente circa per l'80% delle saldature per le strutture in carpenteria metallica) perché non richiedono la preparazione degli elementi e presentano costi limitati rispetto alla saldatura a completa penetrazione, ma possono non essere ottimali rispetto allo stato di sollecitazione agente.

Parametri geometrici: altezza di gola a e lunghezza effettiva del cordone L (evitando estremità mancanti o difettose).

Si possono formare angoli fra gli elementi tipicamente compresi fra 60° e 120° .

I cordoni possono essere continui o intermittenti. Le NTC2018 (§4.2.8.2.3) non ammettono saldature a cordoni intermittenti in strutture non sicuramente protette contro la corrosione.

I cordoni di saldatura con passata singola raggiungono tipicamente al massimo 6 mm. Per spessori maggiori sono necessarie ripetute passate, aspetto da tenere in conto nel dimensionamento, che può incidere non poco sui tempi di lavorazione e i relativi costi.

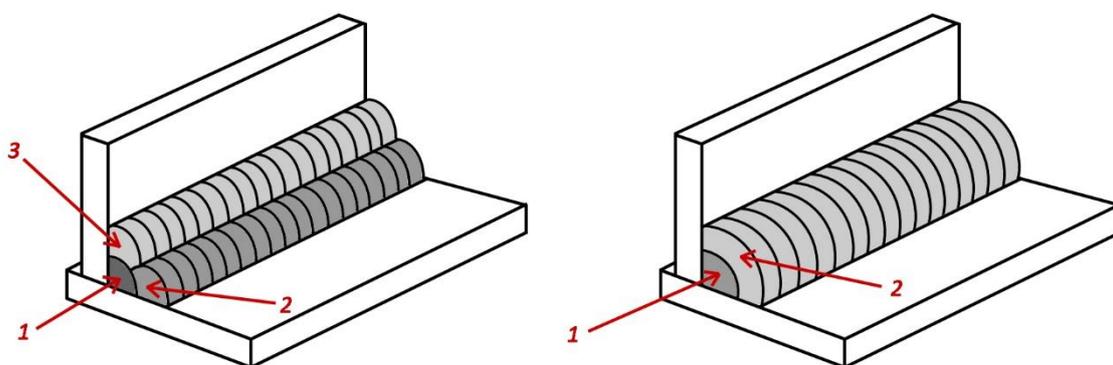


Fig.9 – Differenti passate per la realizzazione del cordone di saldatura

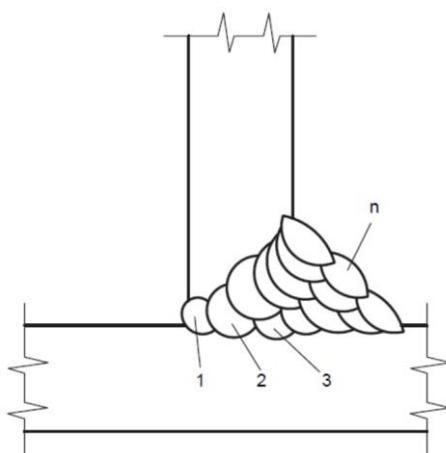
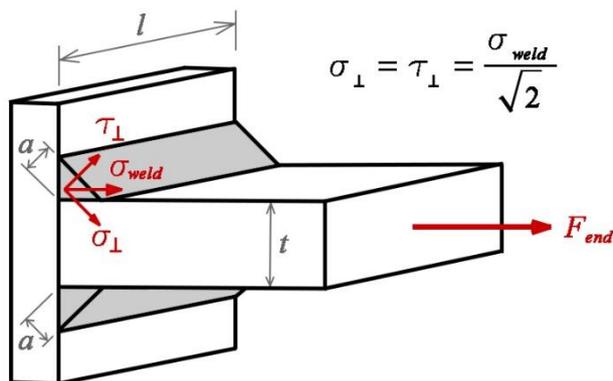


Fig.10 – Differenti passate per la realizzazione di una saldatura a completa penetrazione

È importante considerare che, nel caso di carichi modesti, dimensionare l'altezza di gola in funzione del carico agente può generare saldature sottili con una resistenza inferiore a quella di snervamento dell'elemento più debole, conferendo al collegamento scarsa capacità deformativa predisponendolo a rotture di tipo fragile.

Saldature full strenght

Per collegamenti nei pressi di cerniere plastiche o per i quali venga comunque richiesta una certa capacità di rotazione è buona prassi sovradimensionare la saldatura per avere un *full strenght*, imponendo un'altezza di gola minima per la saldatura adottando il metodo direzionale descritto nel seguente capitolo.



➤ **Tensione agente sulla saldatura**

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{weld}}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_{weld}}{\sqrt{2}}\right)^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

➤ **Tensione limite per rispettare la verifica**

$$\sigma_{weld} \leq f_{w,u,end} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{2}}$$

➤ **Snervamento piastra saldata**

$$2al\sigma_{weld} \geq tlf_y/\gamma_{M0}$$

Fig.11 – Tensioni agente nei cordoni di saldatura di un giunto a cordone d'angolo soggetto a trazione

$$a \geq \frac{f_y t}{2f_{w,u,end} \gamma_{M0}}$$

$$a \geq \frac{f_y \beta_w \gamma_{M2} t}{\sqrt{2} f_u \gamma_{M0}}$$

Qualità acciaio	f _y	f _u	β _w	f _{w,u,end}	saldature full strenght a doppio cordone
S235	235	360	0,80	255	a ≥ 0,44 t
S275	275	430	0,85	286	a ≥ 0,46 t
S275 N/NL	275	390	0,85	260	a ≥ 0,50 t
S275 M/ML	275	370	0,85	246	a ≥ 0,53 t
S355	355	510	0,90	321	a ≥ 0,53 t
S355 N/NL	355	490	0,90	308	a ≥ 0,55 t
S355 M/ML	355	470	0,90	295	a ≥ 0,57 t
S420 N/NL	420	520	1,00	294	a ≥ 0,68 t
S420 M/ML	420	520	1,00	294	a ≥ 0,68 t
S450	450	550	1,00	311	a ≥ 0,69 t
S460 N/NL	460	540	1,00	305	a ≥ 0,72 t
S460 M/ML	460	540	1,00	305	a ≥ 0,72 t
S460 Q/QL/QL1	460	570	1,00	322	a ≥ 0,68 t

Tab.2 – Altezza di gola minima in funzione della qualità del materiale base

4) VERIFICA DELLE UNIONI SALDATE

Verifica giunti a completa penetrazione

I collegamenti testa a testa, a T e a croce a piena penetrazione sono generalmente realizzati con materiali d'apporto aventi resistenza uguale o maggiore a quella del materiale base (*overmatching*), pertanto la resistenza di progetto dei collegamenti a piena penetrazione si assume uguale alla resistenza di progetto del più debole tra gli elementi collegati.

Fatte queste premesse e assumendo che la saldatura venga eseguita correttamente, la verifica si ritiene soddisfatta.

Verifica giunti a parziale penetrazione

I collegamenti testa a testa, a T e a croce a parziale penetrazione vengono solitamente verificati con gli stessi criteri dei cordoni d'angolo. L'altezza di gola dei cordoni d'angolo da utilizzare nelle verifiche è quella teorica, corrispondente alla preparazione adottata e specificata nei disegni di progetto, senza tenere conto della penetrazione e del sovrametallo di saldatura, in conformità con le norme UNI EN ISO 9692 [12] – *Saldatura e procedimenti connessi* – parti 1, 2, 3 e 4.

Nel determinare la resistenza di progetto di una saldatura testa a testa a parziale penetrazione, che penetra al di sotto delle facce dei lati degli elementi da collegare, la UNI EN 1993-1-8 [4] permette di tener conto della parte di altezza di gola aggiuntiva.

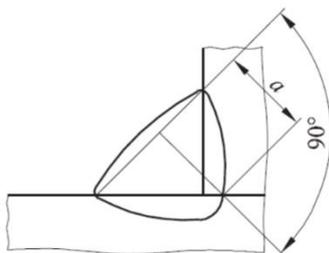


Fig. 12 – Altezza di gola saldatura a cordone d'angolo con approfondimento del cordone (da figura 4.4, UNI EN 1993-1-8)

È tuttavia possibile trattare le saldature a parziale penetrazione come se fossero a completa penetrazione nel caso si verificano entrambe le condizioni rappresentate nella figura seguente.

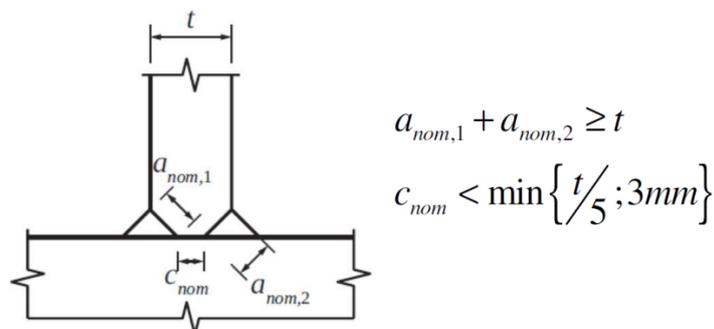


Fig. 13 – Effettiva penetrazione in una saldatura di testa a T (da figura 4.6, UNI EN 1993-1-8)

Verifica giunti a cordoni d'angolo

Assunzioni sulla saldatura

- Omogenea ed isotropa
- Elementi connessi rigidi e deformazioni trascurabili
- Tensioni nominali dovute alle sollecitazioni esterne: si trascurano i picchi di tensione
- Si trascurano le tensioni residue
- Si trascurano le concentrazioni di tensione
- La geometria della saldatura non viene considerata

La verifica delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo, condotta seguendo uno dei tre procedimenti proposti dalle NTC2018, richiede la corretta definizione dell'altezza di gola a del cordone di saldatura così come indicato nella figura seguente.

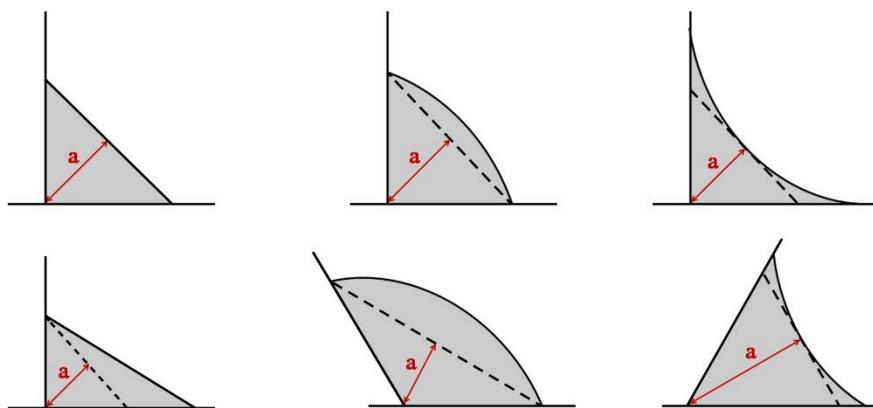


Fig. 14 – Definizione dell'altezza di gola

L'altezza di gola equivale all'altezza minore del triangolo inscritto nella sezione trasversale del cordone, trascurando l'incremento di altezza dovuto alla penetrazione e alla presenza del sovrametallo.

Si raccomanda che l'altezza di gola efficace di una saldatura a cordone d'angolo non sia inferiore a 3 mm. (UNI EN 1993-1-8 [4], par 4.5.2).

Si raccomanda che la lunghezza efficace della saldatura a cordone d'angolo L sia assunta come la lunghezza della parte di saldatura lungo la quale il cordone è a pieno spessore, questa lunghezza può essere assunta pari alla lunghezza totale del cordone ridotta del doppio dell'altezza di gola efficace.

$$L \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ 6 a_w \end{array} \right.$$

Si raccomanda che una saldatura d'angolo con una lunghezza efficace minore di 30 mm o minore di 6 volte la sua altezza di gola, a seconda di quale sia tra i due il valore maggiore, non sia progettata per trasferire carichi.

1) Metodo direzionale

Il metodo più diffuso per la verifica di resistenza dei cordoni di saldatura è il metodo direzionale che considera la sezione di gola nella sua posizione effettiva. La complessità di tale metodo sta nel dover valutare le componenti di tensione nel piano della sezione di gola come indicato nella figura seguente. Si trascura la tensione normale $\sigma_{//}$ parallela al cordone di saldatura.

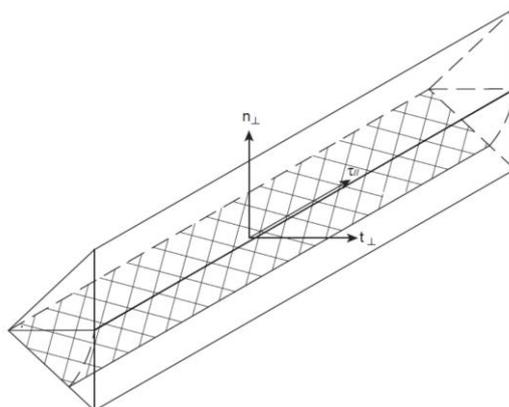


Fig.15 – Stato tensionale nella sezione di gola

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{tk} / (\beta \gamma_{M2})$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 f_{tk} / \gamma_{M2}$$

dove

σ_{\perp} è la tensione normale alla sezione di gola

τ_{\perp} è la tensione tangenziale ortogonale alla sezione di gola

$\tau_{//}$ è la tensione tangenziale parallela alla sezione di gola

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

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

γ_{M2} è il coefficiente parziale di sicurezza per le saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo (NTC2018 – Tab. 4.2. XIV)

β è un coefficiente di efficienza della saldatura dipendente dalla classe di resistenza dell'acciaio riportato nella seguente tabella.

Grado	Coefficiente di efficienza β
S235	0.80
S275	0.85
S355	0.90
S420 e S460	1.00

Tab.3 – Valori del coefficiente β

2) Metodo semplificato

In alternativa al metodo direzionale le NTC2018 consentono l'utilizzo di un metodo semplificato per la valutazione della resistenza del cordone di saldatura indipendente dalla direzione in cui agisce lo sforzo. In questo caso il controllo viene effettuato direttamente sulle forze agenti per unità di lunghezza della saldatura secondo la seguente espressione:

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

dove

$F_{w,Ed}$ rappresenta il valore della forza agente sulla saldatura per unità di lunghezza

$F_{w,Rd}$ è la forza resistente di calcolo della saldatura per unità di lunghezza, definita come:

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

3) Metodo della sezione di gola ribaltata

L'ultimo metodo è quello della sezione di gola ribaltata che, analogamente al metodo direzionale, considera le tensioni lungo il cordone di saldatura. La sua semplificazione è dovuta al fatto che non richiede la determinazione delle componenti di tensione nel piano della saldatura, ma su un piano ribaltato coincidente con uno dei due lati della saldatura come mostrato nella seguente figura.

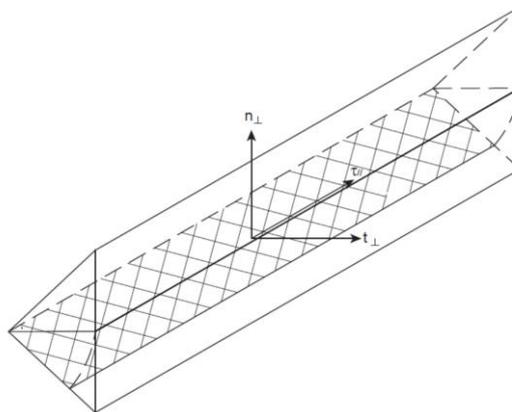


Fig.16 – Stato tensionale nella sezione di gola ribaltata

In questo caso il dominio di resistenza si trasforma in una sfera. La verifica si riconduce al rispetto delle seguenti relazioni:

$$\sqrt{n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \beta_1 f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 f_{yk}$$

in cui

n_{\perp} è la tensione normale ortogonale all'asse del cordone di saldatura

t_{\perp} è la tensione tangenziale ortogonale all'asse del cordone di saldatura

$\tau_{//}$ è la tensione tangenziale parallela all'asse del cordone di saldatura

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento

β_1 e β_2 sono coefficienti di efficienza della saldatura dipendenti dal grado dell'acciaio. Il loro valore è riportato nella seguente tabella.

Grado	Coefficiente β_1	Coefficiente β_2
S235	0.85	1.00
S275 e S355	0.70	0.85
S420 e S460	0.62	0.75

Tab.4 – Valori dei coefficienti β_1 e β_2

Unioni a trazione con cordoni laterali

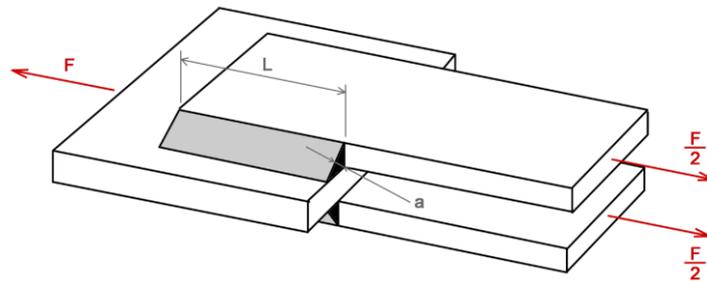


Fig.17 – Unione a trazione con cordoni laterali

Sezione di gola nella posizione reale e ribaltata:

$$\tau_{\parallel} = t_{\parallel} = \frac{F}{4aL}$$

Unioni a trazione con cordoni frontali

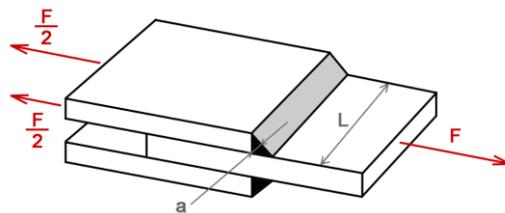
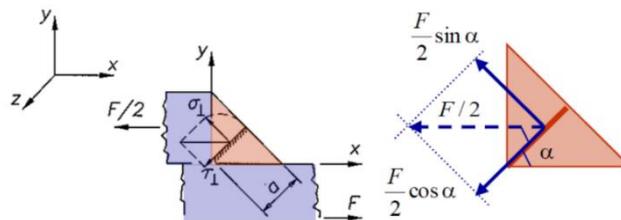


Fig.18 – Unione a trazione con cordoni frontali

Sezione di gola nella reale posizione:



$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{2} \sin \alpha \frac{1}{aL} = \frac{F}{2aL} \sin \alpha$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{2} \cos \alpha \frac{1}{aL} = \frac{F}{2aL} \cos \alpha$$

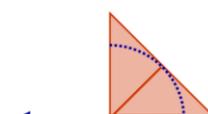
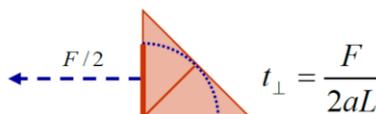
Per $\alpha=45^{\circ}$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{2aL} \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{2aL} \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Sezione di gola ribaltata su yz e xz:

$$n_{\perp} = \frac{F}{2aL}$$



Unioni a trazione con cordoni inclinati

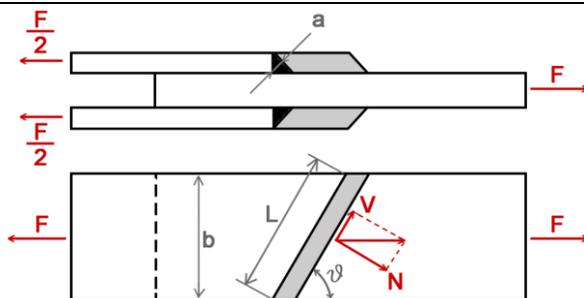
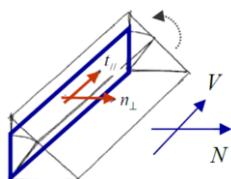


Fig.19 – Unione a trazione con cordoni inclinati

Sezione di gola nella reale posizione:

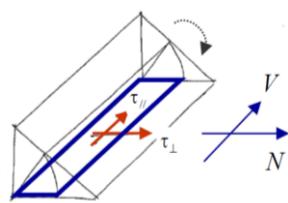
$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{2aL} \sin \alpha = \frac{F}{2aL} \sin \theta \sin \alpha \quad \tau_{\perp} = \frac{N}{2aL} \cos \alpha = \frac{F}{2aL} \sin \theta \cos \alpha \quad \tau_{\parallel} = \frac{V}{2aL} = \frac{F}{2aL} \cos \theta$$

Sezione di gola ribaltata rispetto ai piani yz e xz:



$$t_{\parallel} = \frac{V}{2aL} = \frac{F}{2aL} \cos \theta$$

$$n_{\perp} = \frac{N}{2aL} = \frac{F}{2aL} \sin \theta$$



$$t_{\parallel} = \frac{V}{2aL} = \frac{F}{2aL} \cos \theta$$

$$t_{\perp} = \frac{N}{2aL} = \frac{F}{2aL} \sin \theta$$

Unioni a trazione con cordoni combinati

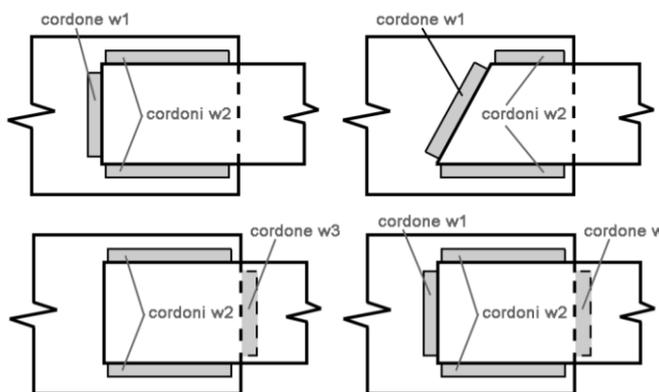


Fig.20 – Unione a trazione con cordoni combinati

Nell'impiego di cordoni combinati è consigliabile affidare l'intero carico ai cordoni laterali o a quelli frontali a causa dei differenti comportamenti in termini di rigidità e duttilità nella risposta riscontrati sperimentalmente. È inoltre consigliabile evitare spessori di gola differenti e, nel caso si affidi comunque il carico ad entrambi i tipi di cordone, eseguire giunti compatti ($\Sigma L_w < 60 a_w$).

Unioni a flessione e taglio con cordoni frontali verticali

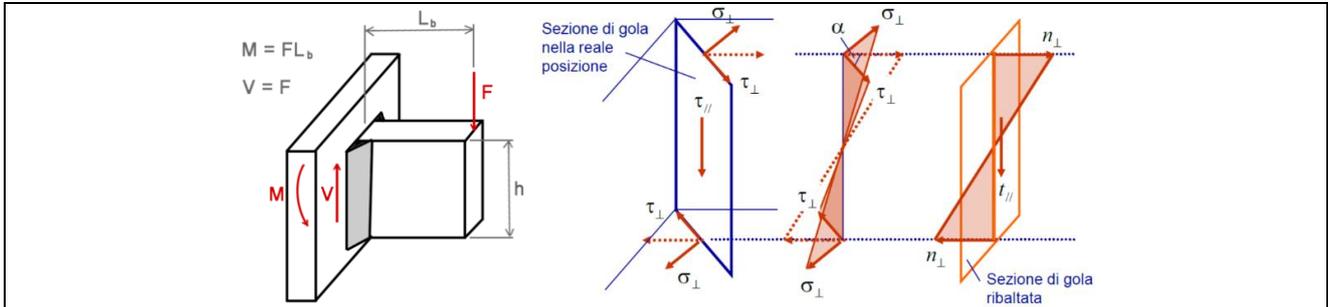


Fig.21 – Unione a flessione e taglio con cordoni frontali verticali

Sezione di gola nella posizione reale:

$$\sigma_{\perp, \max} = \frac{M}{W} \sin \alpha = \frac{3FL_b}{ah^2} \sin \alpha \quad \tau_{\perp, \max} = \frac{M}{W} \cos \alpha = \frac{3FL_b}{ah^2} \cos \alpha \quad \tau_{\parallel} = t_{\parallel} = \frac{F}{2ah}$$

Sezione di gola ribaltata sul piano yz:

$$n_{\perp, \max} = \frac{M}{W} = \frac{3FL_b}{ah^2} \quad t_{\parallel} = \frac{F}{2ah}$$

Unioni a flessione e taglio con cordoni frontali trasversali

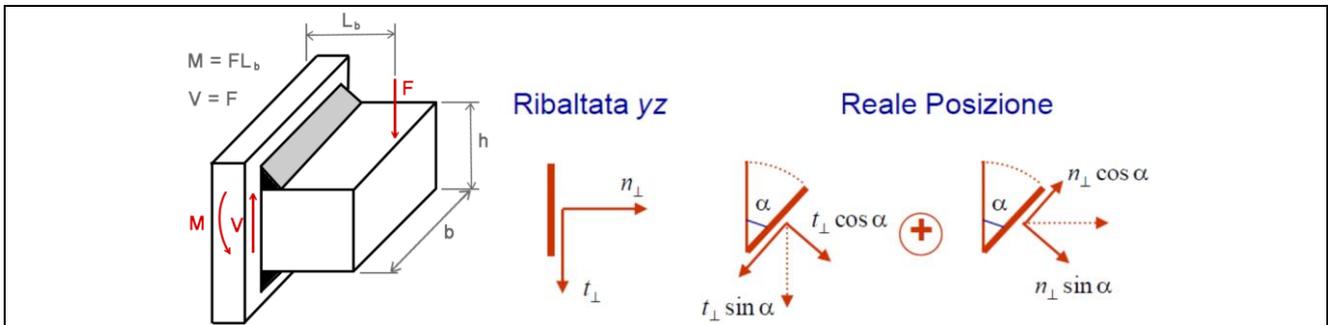


Fig.22 – Unione a flessione e taglio con cordoni frontali trasversali

Sezione di gola nella reale posizione:

$$\sigma_{\perp, \max} = t_{\perp} \cos \alpha + n_{\perp, \max} \sin \alpha = \frac{F}{2ab} \cos \alpha + \frac{FL_b}{abh} \sin \alpha$$

$$\tau_{\perp, \max} = t_{\perp} \sin \alpha + n_{\perp, \max} \cos \alpha = \frac{F}{2ab} \sin \alpha + \frac{FL_b}{abh} \cos \alpha$$

Sezione di gola ribaltata sul piano yz:

$$n_{\perp, \max} = \frac{M}{W} = \frac{FL_b}{bah} \quad t_{\perp} = \frac{F}{2ab}$$

Unioni a flessione e taglio con combinazione di cordoni

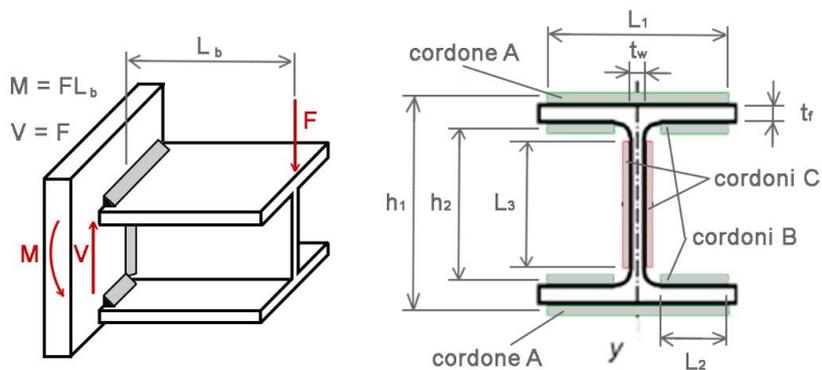
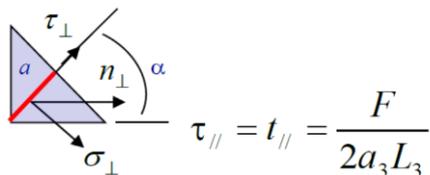


Fig.23 – Unioni a flessione e taglio con combinazione di cordoni

Usualmente si semplifica il calcolo assumendo, a favore di sicurezza, che l'azione di taglio venga assorbita dai cordoni d'anima (cordoni C) e che la flessione sia assorbita dai cordoni sulle ali (Cordoni A e B).

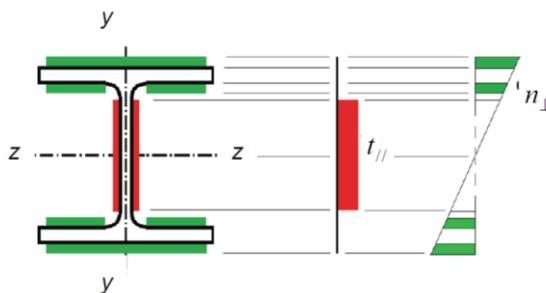
Sezione di gola nella reale posizione:



$$\sigma_{\perp, \max} = n_{\perp, \max} \sin \alpha = \frac{FL_b}{L_1 a_1 h_1 + 2L_2 a_2 h_2} \sin \alpha$$

$$\tau_{\perp, \max} = n_{\perp, \max} \cos \alpha = \frac{FL_b}{L_1 a_1 h_1 + 2L_2 a_2 h_2} \cos \alpha$$

Sezione di gola ribaltata sul piano yz:



$$n_{\perp, \max} = \frac{FL_b}{W} = \frac{FL_b}{L_1 a_1 h_1 + 2L_2 a_2 h_2} \quad t_{\parallel} = \frac{F}{2a_3 L_3}$$

Unioni a taglio e torsione con cordoni laterali

Applicazione del metodo delle due forze: conservativo nei casi pratici se $0,5 < L / h < 2$

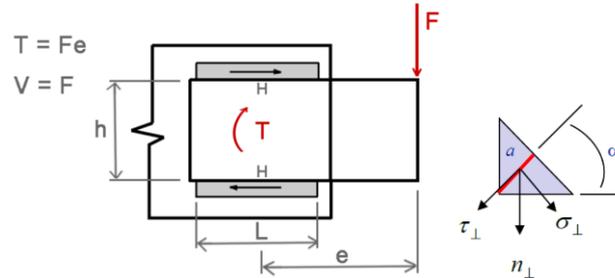


Fig.24 – Unione a taglio e torsione con cordoni laterali

Sezione di gola nella reale posizione:

$$\tau_{//} = t_{//} = \frac{Fe}{h} \frac{1}{aL} \quad \sigma_{\perp} = \frac{F}{2aL} \cos \alpha \quad \tau_{\perp} = \frac{F}{2aL} \sin \alpha$$

Sezione di gola ribaltata sul piano xz:

$$\tau_{//} = t_{//} = \frac{Fe}{h} \frac{1}{aL} \quad n_{\perp} = \frac{F}{2aL}$$

Sezione di gola ribaltata sul piano xy:

$$\tau_{//} = t_{//} = \frac{Fe}{h} \frac{1}{aL} \quad t_{\perp} = \frac{F}{2aL}$$

Unioni a taglio e torsione con cordoni frontali

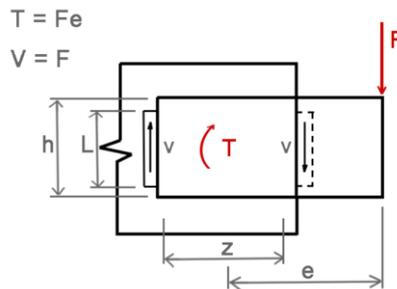


Fig.25 – Unione a taglio e torsione con cordoni frontali

Sezione di gola nella reale posizione e ribaltata rispetto ai piani xy e yz:

$$\tau_{//} = t_{//} = \frac{F}{2aL} + \frac{Fe}{zaL} = \frac{F}{aL} \left(\frac{1}{2} + \frac{e}{z} \right)$$

Unioni a taglio e torsione con combinazione di cordoni

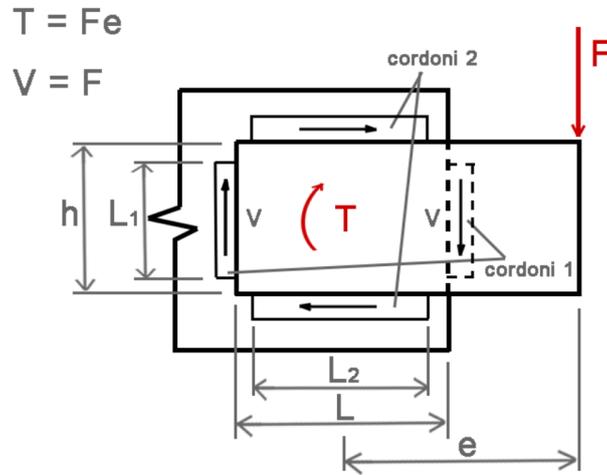


Fig.26 – Unioni a taglio e torsione con combinazione di cordoni

Ipotesi ripartizione momento torcente totale T in due aliquote T_1 e T_2 assorbite rispettivamente dai cordoni frontali (1) e laterali (2), convenzionalmente effettuata in relazione ai massimi momenti torcenti che possono essere affidati alle due coppie di cordoni, $T_{1,max}$ e $T_{2,max}$.

I valori massimi $T_{1,max}$ e $T_{2,max}$ si possono ottenere adottando una tensione massima f_s ritenuta accettabile ed un opportuno coefficiente di sicurezza.

$$T_1 = T \frac{T_{1,max}}{T_{1,max} + T_{2,max}} = T \frac{a_1 L_1 f_s L}{a_1 L_1 f_s L + a_2 L_2 f_s h} = T \frac{a_1 L_1 L}{a_1 L_1 L + a_2 L_2 h} \quad T_{2,max} = a_2 L_2 f_s h$$

$$T_2 = T \frac{T_{2,max}}{T_{1,max} + T_{2,max}} = T \frac{a_2 L_2 f_s h}{a_1 L_1 f_s L + a_2 L_2 f_s h} = T \frac{a_2 L_2 h}{a_1 L_1 L + a_2 L_2 h} \quad T_{1,max} = a_1 L_1 f_s L$$

5) ESEMPI SVOLTI DI CALCOLO E VERIFICA DI GIUNTI SALDATI SECONDO LE NTC 2018

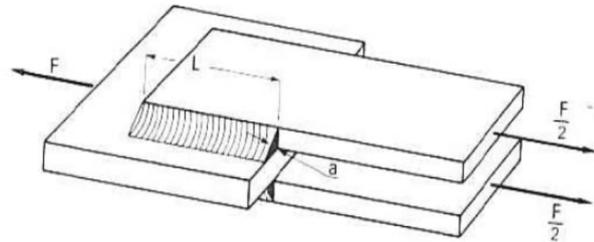
UNIONI SALDATE - Esempio1

Number of fillet: 4

Throat thickness a of 4 mm

Length L of 60 mm

F is the external force equal to 120 kN



$$t_{\parallel} = \frac{F}{4 \cdot L \cdot a} = \frac{120000}{4 \cdot 60 \cdot 4} = 125 \text{ MPa}$$

Verificando secondo NTC (sezione di gola ribaltata):

$$\sqrt{t_{\parallel}^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk} \rightarrow \boxed{t_{\parallel} = 125 \text{ MPa} \leq 275 \times 0.70 = 192.5 \text{ MPa}}$$

Prof. Ing. Gianfranco DE MATTEIS _ Università della Campania "L.Vanvitelli"

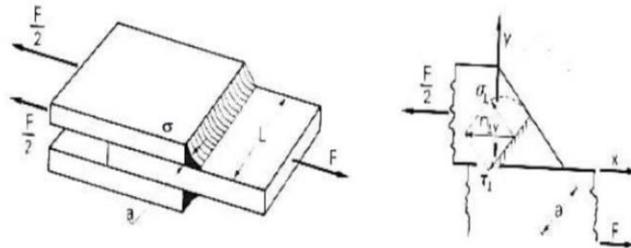
UNIONI SALDATE – Esempio 1.1

Number of fillet: 2

Throat thickness a of 4 mm

Length L of 80 mm

F is the external force equal to 120 kN



$$\sigma_{\perp} = n_{\perp y} \cdot \cos 45^{\circ} = \frac{F}{2 \cdot L \cdot a} \cdot \cos 45^{\circ} = \frac{120000}{2 \cdot 80 \cdot 4} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 132.58 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = n_{\perp y} \cdot \sin 45^{\circ} = \frac{F}{2 \cdot L \cdot a} \cdot \sin 45^{\circ} = \frac{120000}{2 \cdot 80 \cdot 4} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 132.58 \text{ MPa}$$

Verificando secondo NTC/EC3 (metodo direzionale - sezione di gola effettiva):

$$\boxed{\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} = 265.16 \text{ MPa} \leq \frac{f_{tk}}{\beta \cdot \gamma_{M2}} = \frac{430}{0.85 \cdot 1.25} = 404 \text{ MPa}} \quad \text{Coeff. sicurezza} = 404/265 = 1.52$$

Prof. Ing. Gianfranco DE MATTEIS _ Università della Campania "L.Vanvitelli"

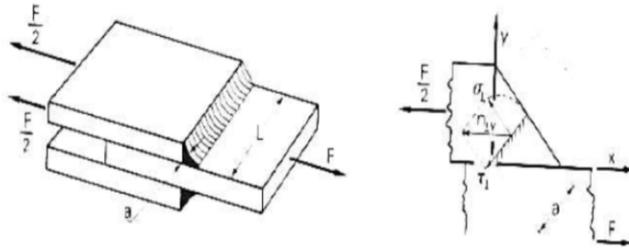
UNIONI SALDATE – Esempio 1.2

Number of fillet: 2

Throat thickness *a* of 4 mm

Length *L* of 80 mm

F is the external force equal to 120 kN



Applicando il metodo semplificato, si ha:

$$F_{w,Ed} = \frac{F}{2 \cdot L} = \frac{120000}{2 \cdot 80} = 750 \text{ N/mm} < F_{w,Rd} = a f_{tk} / (\sqrt{3} \beta \gamma_{M2})$$

$$F_{w,Ed} = \frac{F}{2 \cdot L} = \frac{120000}{2 \cdot 80} = 750 \text{ N/mm} < \frac{430 / \sqrt{3}}{0.85 \cdot 1.25} \cdot a = 932 \text{ N/mm}$$

Con coefficienti di sicurezza ovviamente inferiori al metodo direzionale.

Coeff. Sicurezza = 932/750=1,24

UNIONI SALDATE – Esempio 3

Giunto saldato trave-colonna con calcolo semplificato "all'italiana" (separando gli effetti del momento flettente *M* – assegnato ai soli cordoni di flangia – e del taglio *V*), ma con metodo direzionale.

Azione tagliante: *F*=10 kN

Eccentricità azione tagliante: *e* = 0.5 m

Momento: *M* = 20 kNm

a=*L*, cordone 1, Flangia = 110 mm

b=*L*, cordone, anima = 190.4 mm

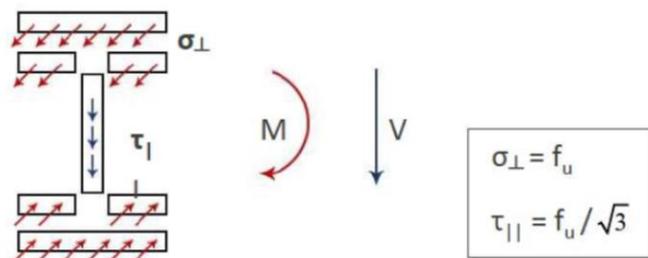
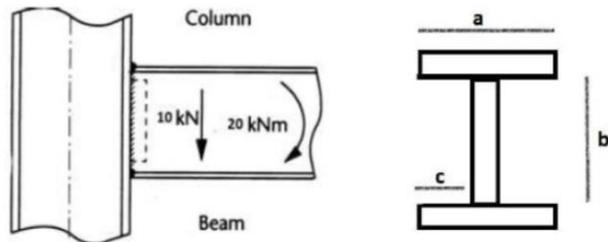
c=*L*, seam, 2, Flange = 43 mm

Trave IPE-220

*a*_{fl} = 5mm

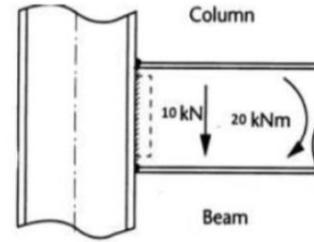
*a*_{anima} = 4mm

Acciaio S235



Ipotesi: Il momento flettente produce una distribuzione lineare delle tensioni.

$$\sigma_n = \frac{M + F \times e}{I_{xx}} \times \left(\frac{h_{beam}}{2} + \frac{a}{2} \right)$$



$I_{xx} = I_{xx}(\text{External Seam of Flange}) + I_{xx}(\text{Internal seam of Flange})$

$$I_{xx} = 2 \times \left[\frac{L_{seam,1,flange} \times a^3}{12} + L_{seam,1,flange} \times a \times \left(\frac{h_{beam}}{2} + \frac{a}{2} \right)^2 \right] + 4 \times \left[\frac{L_{seam,2,flange} \times a^3}{12} + L_{seam,2,flange} \times a \times \left(\frac{h_{beam}}{2} - \frac{a}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{xx} = 2 \times \left[\frac{110 \times 5^3}{12} + 110 \times 5 \times \left(\frac{220}{2} + \frac{5}{2} \right)^2 \right] + 4 \times \left[\frac{43 \times 5^3}{12} + 43 \times 5 \times \left(\frac{220}{2} - \frac{5}{2} \right)^2 \right]$$

$$= 23864332 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_n = \frac{M + F \times e}{I_{xx}} \times \left(\frac{h_{beam}}{2} + \frac{a}{2} \right)$$

$$\sigma_n = \frac{20 \times 10^6 + 10 \times 10^3 \times 500}{23864332} \times \left(\frac{220}{2} + \frac{5}{2} \right) = 117 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{perpendicular} = 117 \times \cos(45) = 83.3 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{perpendicular} = 117 \times \sin(45) = 83.3 \text{ Mpa}$$

Metodo di verifica su sezione di gola.

$$\sqrt{\sigma_{perpendicular}^2 + 3 \times \tau_{perpendicular}^2} = \sqrt{83.3^2 + 3 \times 83.3^2} = 166.6 \text{ Mpa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{mo}} = \frac{360}{0.8 \times 1.25} = 360 \text{ Mpa} > 166.6 \text{ Mpa}$$

Verificato

RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- [2] CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- [3] UNI EN 1993-1-3:2007 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo;
- [4] UNI EN 1993-1-8:2005 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti;
- [5] UNI EN 1993-1-9:2005 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-9: Fatica;
- [6] UNI EN 1993-1-10:2005 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore;
- [7] UNI EN 1993-1-12:2007 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700;
- [8] UNI EN 10025-1:2005 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura;
- UNI EN 10025-2:2019 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali;
- UNI EN 10025-3:2019 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine allo stato normalizzato/normalizzato laminato;
- UNI EN 10025-4:2019 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica;
- UNI EN 10025-5:2019 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
- UNI EN 10025-6:2019 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 6: Condizioni tecniche di fornitura per prodotti piani di acciai per impieghi strutturali ad alto limite di snervamento allo stato bonificato;

- [9] UNI EN 10210-1:2006 - Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura;
- [10] UNI EN 10219-1:2006 - Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura;
- [11] UNI EN ISO 4063:2011 - Saldatura e tecniche affini - Nomenclatura e codificazione numerica dei processi;
- [12] UNI EN ISO 9692-1:2013 - Saldatura e procedimenti connessi - Tipologie di preparazione dei giunti - Parte 1: Saldatura manuale ad arco con elettrodi rivestiti, saldatura ad arco con elettrodo fusibile sotto protezione di gas, saldatura a gas, saldatura TIG e saldatura mediante fascio degli acciai;

UNI EN ISO 9692-2:2001 - Saldatura e procedimenti connessi - Preparazione dei giunti - Saldatura ad arco sommerso degli acciai;

UNI EN ISO 9692-3:2016 - Saldatura e procedimenti connessi - Tipi di preparazione dei giunti - Parte 3: Saldatura MIG e TIG dell'alluminio e delle sue leghe;

UNI EN ISO 9692-4:2005 - Saldatura e procedimenti connessi - Raccomandazioni per la preparazione dei giunti - Parte 4: Acciai placcati;
- [13] UNI EN ISO 17659:2006 - Saldatura - Lista multilingue dei termini relativi ai giunti saldati, con illustrazioni.

CREDITS

- Fig.1/4/10/15/16 – Oreste S. Bursi – Raffaele Pucinotti – Gabriele Zanon
PROGETTAZIONE DI GIUNZIONI E STRUTTURE TUBOLARI IN ACCIAIO
Fondazione Promozione Acciaio - Dario Flaccovio Editore
ISBN: 978-88-579-0158-9;
- Fig.2/3/5/6/7/8/9/11/14/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26 a cura dell'Ufficio Tecnico di
Fondazione Promozione Acciaio;
- Fig. 12/13 – UNI EN 1993-1-8:2005 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio -
Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti;
- Esempi svolti di calcolo e verifica per giunti saldati tratti dalla presentazione del Prof. Ing.
Gianfranco De Matteis del 17-19 Maggio 2018 a Spoleto;
- Copertina: Centro Arti e Scienze Fondazione Golinelli - Foto: OKNO Studios.

Redazione e pubblicazione: Aprile 2020

Documento a cura di Fondazione Promozione Acciaio - Tutti i diritti riservati.

**Immagini e disegni salvo diversamente specificato sono di proprietà esclusiva di
Fondazione Promozione Acciaio, ogni riproduzione parziale o totale è
esplicitamente vietata.**