



## Giunzioni Saldate



La saldatura è un processo di giunzione che consente di unire elementi metallici in modo **permanente**, realizzando la continuità del materiale mediante **fusione**.

Rispetto le unioni bullonate, le unioni saldate:

- ✓ rendono la struttura più leggera e rigida;
- ✓ sono generalmente a basso costo.

Tuttavia:

- ✓ sono unioni non smontabili;
- ✓ non tutti i materiali sono saldabili;
- ✓ occorre manodopera qualificata;
- ✓ la zona di saldatura è spesso sede di innesco di cricche a fatica

1



## Giunzioni Saldate



Materiale **base di apporto** (equivalente o superiore al materiale base).

Tipi di saldatura:

**Autogena:** il materiale base e di apporto sono fusi assieme (punto di fusione paragonabile). Es: saldatura ossiacetilenica, ad arco con elettrodi rivestiti, ad arco sommerso, con protezione di gas ed elettrodo fusibile (MIG/MAG), con protezione di gas ed elettrodo infusibile (TIG).

**Eterogena:**

viene fuso il solo metallo di apporto a una temperatura inferiore a quella del metallo base (poco usata).

2



**Tipologie di saldatura:**

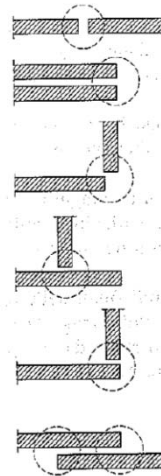
- Saldatura per fusione in cui vengono riscaldati fino alla fusione i lembi da saldare insieme al materiale d'apporto.
- Saldatura per pressione in cui i lembi vengono schiacciati tra loro e contemporaneamente riscaldati (ad es. per effetto Joule nella saldatura a punti)
- Brasatura in cui non si ha la fusione degli elementi da collegare ma solo del materiale d'apporto.
- Metodi non convenzionali: diffusion bonding, saldatura per attrito, ecc.

Cattura file



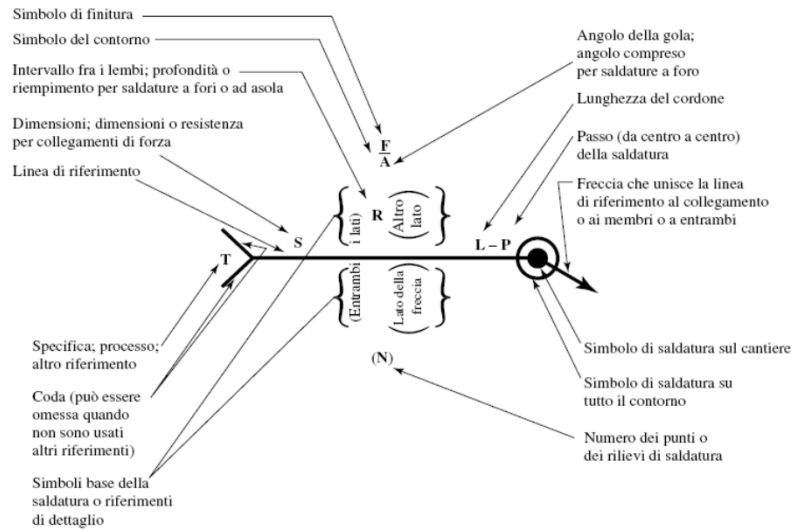
**Tipi di giunti:**

- testa a testa
- d'orlo
- d'angolo
- a T
- a L
- per sovrapposizione





## Giunzioni Saldate



5



## Giunzioni Saldate



Tipo di saldatura							
A cordone	Ad angolo	A foro o finestra	Forma dei lembi				
			Dritti	V	1/2 V	U	J

6



## Giunzioni Saldate



Norma tecnica di riferimento:

**UNI EN 1993: Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti (Errata corrige: maggio 2005; versione italiana: settembre 2005)**

**Norma precedente: CNR-UNI 10011:1988: Costruzioni in acciaio, Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione. Nella norma non si considerano le tensioni residue (per altro difficili da ricavare), ma ne tiene conto indirettamente. Per evitare alti valori delle tensioni residue, si raccomanda di evitare cordoni di saldatura lunghi e di applicare il PWHT (post weld heat treatment).**

7



## Giunzioni Saldate



**Le "qualità" meccaniche di una saldatura (resistenza statica, a fatica e a frattura) sono strettamente dipendenti dalle modalità con cui viene eseguita.**

**I seguenti accorgimenti possono migliorare notevolmente il comportamento meccanico dei cordoni di saldatura:**

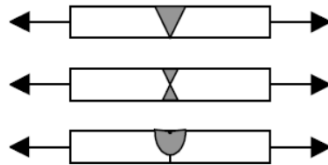
- [Preparazione dei lembi.](#)
- [Ripresa sul rovescio.](#)
- [Trattamenti termici.](#)
- [Lavorazioni meccaniche.](#)
- [Controlli visivi, ad ultrasuoni e radiografici.](#)
- [Impiego di personale specializzato.](#)

8

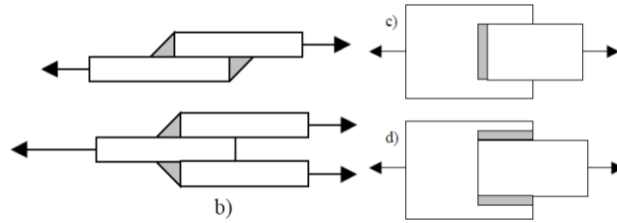


Tipologia di saldature

Giunti di testa: a V, ad X ed a U

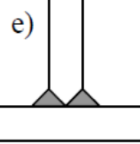


Giunti a sovrapposizione

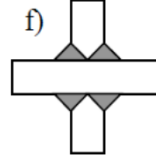


Tipologia di saldature

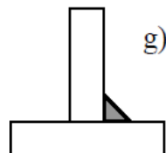
Giunto a T



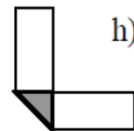
Giunto a crociera



Giunto ad angolo

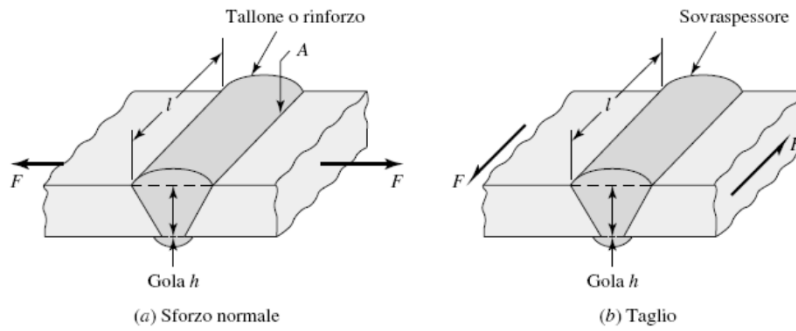


Giunto a spigolo





### Saldature di testa



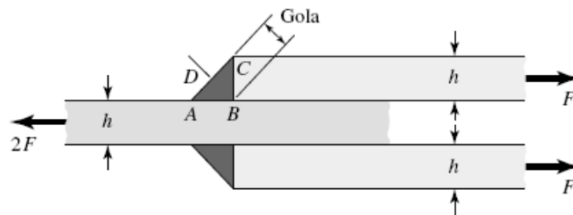
$$\sigma = \frac{F}{hl}$$

$$\tau = \frac{F}{hl}$$

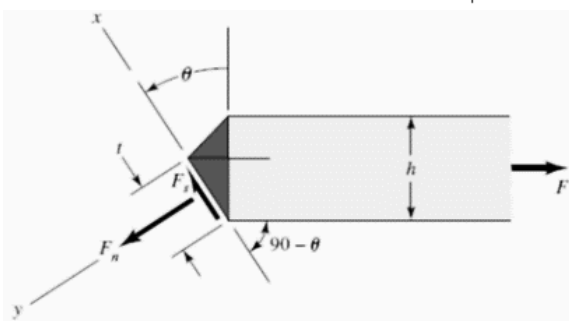
Da applicare con notevoli coefficienti di sicurezza



### Saldature ad angolo



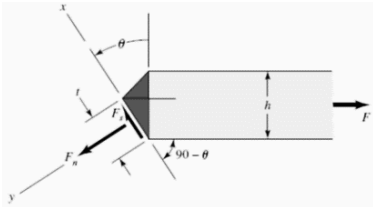
$$F_s = F \sin \theta$$



$$F_n = F \cos \theta$$



### Saldature ad angolo



$$F_s = F \sin \theta$$

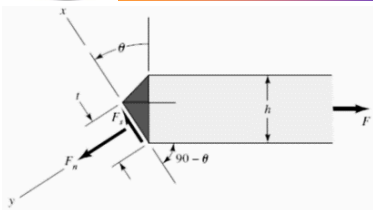
$$F_n = F \cos \theta$$

$$\frac{t}{\sin 45^\circ} = \frac{h}{\sin(90^\circ - \theta + 45^\circ)} = \frac{h}{\sin(135^\circ - \theta)} = \frac{\sqrt{2}h}{\cos \theta + \sin \theta}$$

$$t = \frac{h}{\cos \theta + \sin \theta}$$



### Saldature ad angolo



$$t = \frac{h}{\cos \theta + \sin \theta}$$

Tensioni nominali in funzione di  $\theta$ :

$$\tau = \frac{F_s}{A} = \frac{F \sin \theta (\cos \theta + \sin \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\sin \theta \cos \theta + \sin^2 \theta)$$

$$\sigma = \frac{F_n}{A} = \frac{F \cos \theta (\cos \theta + \sin \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\sin \theta \cos \theta + \cos^2 \theta)$$



Applicando Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \frac{F}{hl} \sqrt{(\sin \theta \cos \theta + \cos^2 \theta)^2 + 3(\sin \theta \cos \theta + \sin^2 \theta)^2}$$

Il massimo si registra per  $\theta=62.5^\circ$  con un valore di  $\sigma_{eq} = 2.16 \frac{F}{hl}$

I corrispondenti valori per  $\sigma$  e  $\tau$  sono:

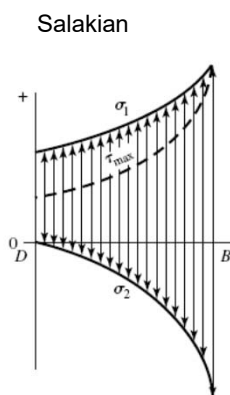
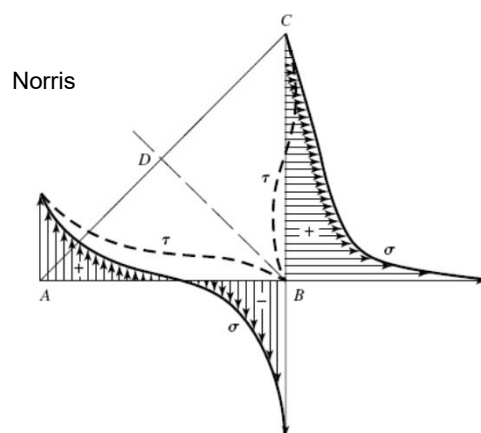
$$\sigma = 0.623 \frac{F}{hl}$$

$$\tau = 1.196 \frac{F}{hl}$$



Il valore della  $\tau_{max}$  si ha per  $\theta=67.5^\circ$  e vale:

$$\tau = 1.207 \frac{F}{hl}$$







In sostanza non si ha un metodo analitico in grado di prevedere le sollecitazioni presenti nella saldatura

**MODELLO SEMPLICE E CONSERVATIVO:**

- Si considerano i carichi esterni assorbiti da forze di taglio nella sezione di gola della saldatura
- Si usa l'energia di deformazione nel caso di sollecitazioni significative
- Si sono codificati i casi semplici

17



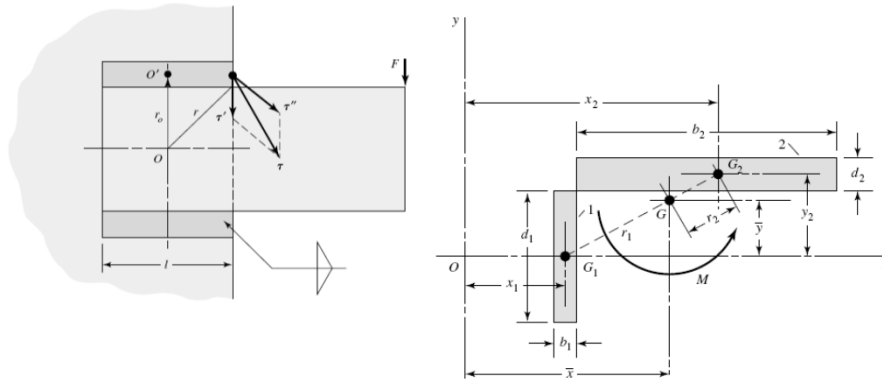
Formula base: 
$$\tau = \frac{F}{0,707hl} = \frac{1.414F}{hl}$$

In pratica si usa un fattore correttivo di 1.414 che equivale a considerare l'area resistente pari a circa il 70% di quella effettiva

18



## Saldature sottoposte a torsione



Facendo considerazioni geometriche sui momenti polari si arriva a conclusioni Simili alle precedenti

19



Tabella 9-1

Proprietà torsionali delle saldature d'angolo \*

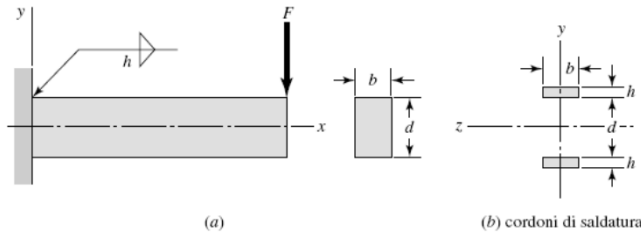
Saldatura	Sezione di gola	Posizione di G	Momento polare unitario
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_o = d^3/12$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_o = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_o = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_o = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_o = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414\pi hr$		$J_o = 2\pi r^3$

\*G è il baricentro del gruppo di saldature; h è la gola del cordone; il piano di torsione è quello del foglio. Tutte le saldature sono considerate di spessore unitario.

20



## Saldature sottoposte a flessione



21



## Saldature sottoposte a flessione



**Tabella 9-2**

Proprietà flessionali delle saldature d'angolo\*.

Saldatura	Sezione di gola	Posizione di G	Momento d'inerzia unitario
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$



**Tabella 9-2**  
(continua)

Saldatura	Sezione di gola	Posizione di G	Momento d'inerzia unitario
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_x = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_x = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_x = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi r$		$I_x = \pi r^3$

\*Il momento d'inerzia unitario  $I_x$  è calcolato rispetto all'asse orizzontale che passa dal baricentro G. Il piano del momento flettente è ortogonale al foglio e parallelo all'asse  $y$ ; tutti i calcoli sono della stessa dimensione.



essione



## Verifica a Resistenza



**Tabella 9-3**

Caratteristiche minime del materiale d'apporto.

Numero AWS dell'elettrodo*	tensione di rottura kpsi (MPa)	Tensione di snervamento kpsi (MPa)	Allungamento percentuale
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

\*Il sistema AWS per la specifica degli elettrodi prevede una E seguita da 4 o 5 cifre, con le prime due che definiscono la resistenza a trazione approssimativa.

**Tabella 9-4**

Tensioni ammissibili dalla normativa AISC per il metallo da saldare.

Tipo di carico	Tipo di saldatura	Tensione ammissibile	$n^*$
Trazione	di testa	$0.60S_y$	1.67
Contatto	di testa	$0.90S_y$	1.11
Flessione	di testa	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compressione semplice	di testa	$0.60S_y$	1.67
Taglio	di testa o d'angolo	$0.30S_{yt}^{\dagger}$	

\*Il coefficiente di sicurezza è calcolato usando la teoria dell'energia di distorsione.

†Le tensioni di taglio nel metallo base non dovrebbero superare  $0.4 S_y$ .



## Fatica

### Tabella 9-5

Fattori di concentrazione delle tensioni per carichi affaticanti.

Tipo di saldatura	$K_{fs}$
Di testa rinforzata	1.2
Punta di cordoni d'angolo trasverso	1.5
Fine di cordoni d'angolo parallelo	2.7
Giunti a T di testa con spigoli vivi	2.0