



SALDATURE

- Saldatura (per fusione)
- Il giunto saldato: tipi di giunti
- La normativa
- Difetti nel cordone di saldatura
- Resistenza statica secondo CNR-UNI 10011
- Carichi che sollecitano il cordone
- Resistenza a fatica secondo CNR-UNI 10011

[1] UNI 1307/1, *Terminologia per la saldatura dei metalli - Procedimenti di saldatura*, 1986

[2] UNI 1307/2, *Terminologia per la saldatura dei metalli - tipi di giunti saldati*, 1987

[3] CNR-UNI 10011, *Costruzioni di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione*, 1988

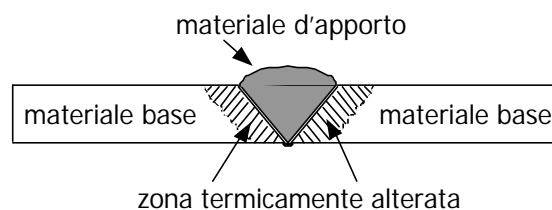
Saldatura:

- Consiste nell'unire 2 o più parti di un giunto, utilizzando calore, pressione o entrambi;
- realizza la continuità dei materiali base che vengono uniti;
- può essere utilizzato un materiale d'apporto con temperatura di fusione prossima o inferiore a quelle dei materiali base;
- deve garantire caratteristiche meccaniche del giunto almeno pari a quelle dei materiali base;
- si fa riferimento a 4 categorie di saldatura che riuniscono procedimenti affini:
 - per fusione
 - a resistenza
 - per pressione
 - brasatura.



Saldatura per fusione

- È usata per le costruzioni di carpenteria e i recipienti in pressione (saldatura per fusione ad arco);
- provoca la fusione localizzata del materiale base;
- si effettua senza intervento di pressione;
- si effettua con o senza l'aggiunta di materiale d'apporto;
- La UNI 1307/1 e /2 riporta le procedure di saldatura e i tipi di giunti.



ECM - Saldature

3

Saldatura per fusione

- Il procedimento di saldatura per fusione utilizzato per le costruzioni di carpenteria e i recipienti in pressione è la saldatura ad arco;
- il calore necessario alla fusione è fornito da uno o più archi elettrici che scoccano tra l'elettrodo e il pezzo;
- la saldatura ad arco si suddivide in:
 - saldatura con elettrodi fusibili;
 - saldatura manuale con elettrodi rivestiti;
 - saldatura ad arco sommerso;
 - saldatura MIG (gas inerte);
 - saldatura MAG (gas attivo CO₂ - ossidante);
 - saldatura TIG (elettrodo non fusibile in tungsteno).

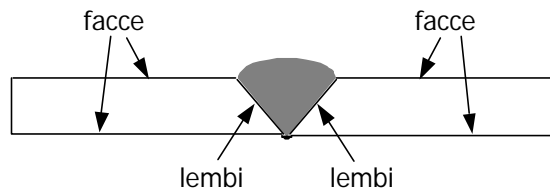
ECM - Saldature

4



IL GIUNTO SALDATO

- È la zona in cui avviene il collegamento dei pezzi mediante la saldatura;
- le superfici minori che limitano i pezzi si chiamano lembi, bordi o teste;
- le superfici maggiori che limitano i pezzi si chiamano facce.

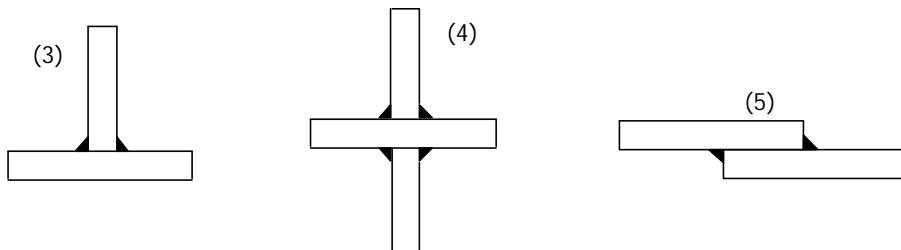


ECM - Saldature

5

Tipi di giunti saldati (selezione)

- Giunto testa a testa (1);
- giunto a T a completa penetrazione (2);
- giunto a T con cordone d'angolo (3);
- giunto a croce con cordoni d'angolo (4);
- giunto a sovrapposizione (5).



ECM - Saldature

6



LA NORMATIVA

- Procedimenti di saldatura e tipi di giunti (UNI 1307);
- qualificazione della tecnologia e del procedimento (certificazione ASME PQR/WPS);
- qualificazione dell'operatore (saldatura manuale) (certificazione ASME WPQ);
- qualificazione del cordone di saldatura (controlli non distruttivi: RX e/o US);
- resistenza statica e a fatica del giunto (CNR-UNI 10011).

DIFETTI NEL CORDONE DI SALDATURA

- Le discontinuità evidenziate mediante controlli non distruttivi diventano difetti quando superano i limiti di accettazione fissati dalla normativa (UNI, ASME, IIW);
- l'identificazione e l'eventuale accettazione dei difetti devono essere svolte in base alla normativa;
- i difetti più diffusi sono:
 - cricche trasversali e longitudinali;
 - pori e tarli;
 - inclusioni di scoria;
 - inclusioni di tungsteno;
 - mancanza di penetrazione;
 - mancanza di fusione.



Difetti nel cordone di saldatura - cricche

- Le cricche a caldo (oltre i 700 °C):
 - sono dovute alla presenza di un bagno di saldatura arricchito di impurezze (principalmente S e P) per l'uso di elettrodi non puliti;
 - sono localizzate verso il centro del cordone.
- Le cricche a freddo (a fine raffreddamento o ritardate):
 - sono dovute alla diversa solubilità di H₂ nel metallo caldo e freddo (rivestimenti di elettrodi, flussi esterni o interni in arco sommerso o MIG/MAG);
 - sono localizzate ai bordi del cordone o nella zona termicamente alterata del materiale base.
- La presenza di cricche comporta sempre la mancata accettazione del giunto saldato.

*Difetti nel cordone di saldatura
pori, tarli, inclusioni, mancanza di penetrazione e fusione*

- I pori sono dovuti allo sviluppo di gas (vapore acqueo) all'interno del cordone (elettrodi con rivestimento basico non essiccati);
- i tarli sono generati dall'unione di più pori;
- le inclusioni di scoria sono dovute alla scarsa pulizia dell'elettrodo nella saldatura manuale;
- le inclusioni di tungsteno, possibili soltanto nel caso di saldatura TIG, sono dovute al contatto accidentale tra elettrodo e materiale base;
- la mancanza di penetrazione e la mancanza di fusione sono dovute a una eccessiva velocità di passata e a un incompleto riempimento del cianfrino.



Norma CNR-UNI 10011

- Si riferisce alle costruzioni in acciaio da carpenteria;
- fa riferimento agli acciai Fe360, Fe430, Fe510 UNI 7070 (attualmente S235, S275, S355 UNI-EN 10025);
- definisce i procedimenti di saldatura che possono essere utilizzati;
- prescrive la conformità degli elettrodi alle classi della UNI 5132;
- prescrive la qualificazione del procedimento di saldatura;
- definisce le seguenti classi di saldatura:
 - classe I e classe II per giunti di testa o a completa penetrazione;
 - classe unica per giunti con cordoni d'angolo.

RESISTENZA STATICA

Caratteristiche meccaniche e tensioni ammissibili

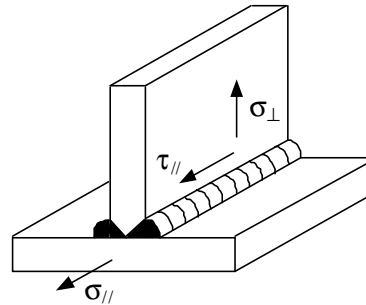
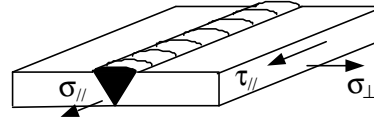
| | R_m [MPa] | $R_{eH}^{1)}$ [MPa] | $\sigma_{adm}^{2)}$ [MPa] | |
|-------|-------------|---------------------|---------------------------|----------|
| | | | $t^{3)} \leq 40$ | $t > 40$ |
| Fe360 | 360 | 235 | 160 | 140 |
| Fe430 | 430 | 275 | 190 | 170 |
| Fe510 | 510 | 355 | 240 | 210 |

- 1) per spessori fino a 16 mm, per spessori da 16 a 40 mm ridurre di 10 MPa, per spessori da 40 a 63 mm ridurre di 20 MPa, per spessori da 63 a 100 mm ridurre di 30 MPa;
- 2) tensione ammissibile per il calcolo statico;
- 3) spessore in mm.

Resistenza statica - giunti di testa e a completa penetrazione

Nel cordone agiscono le seguenti tensioni:

- σ_{\perp} tensione, di trazione e/o compressione, normale alla sezione longitudinale del cordone;
- $\tau_{//}$ tensione tangenziale nella sezione longitudinale;
- $\sigma_{//}$ tensione, di trazione e/o compressione, parallela all'asse del cordone.



La sezione resistente del cordone si calcola:

- per tensioni derivanti da azioni di trazione normali all'asse del cordone e per tensioni derivanti da azioni di taglio utilizzando la formula (1);
- per tensioni derivanti da azioni di trazione parallele all'asse del cordone utilizzando la formula (2).

$$A_{res} = L \cdot s \quad (1)$$

$$A_{res} = H \cdot s \quad (2)$$

L : lunghezza cordone

s : minore degli spessori collegati oppure spessore dell'elemento a completa penetrazione

H : larghezza totale materiale base + materiale d'apporto

- La verifica statica del cordone di saldatura prevede le seguenti limitazioni:

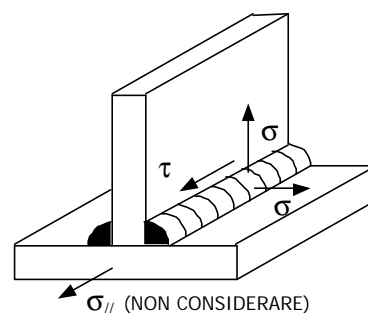
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \begin{cases} \sigma_{\text{adm}} \\ 0.85\sigma_{\text{adm}} \end{cases}$$

- vale la limitazione superiore se il giunto è di classe I;
- vale la limitazione inferiore se il giunto è di classe II.

Resistenza statica - giunti con cordoni d'angolo

Nel cordone agiscono le seguenti tensioni:

- σ tensione, trazione e/o compressione, normale all'asse del cordone;
- τ tensione tangenziale secondo l'asse del cordone;
- σ_{\parallel} tensione, trazione e/o compressione, nella sezione trasversale del cordone: **DA NON CONSIDERARE.**



ATTENZIONE: si distinguerà tra σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp} appena definita la sezione resistente.

La sezione resistente, sia le per tensioni derivanti da azioni di trazione normali all'asse del cordone sia per tensioni derivanti da azioni di taglio lungo tale asse, è la cosiddetta sezione di gola del cordone:

$$A_{res} = L \cdot a$$

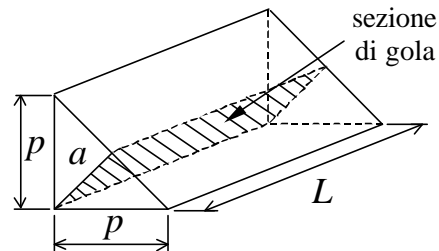
L : lunghezza del cordone

a : altezza di gola (del triangolo inscritto nella sezione trasversale del cordone)

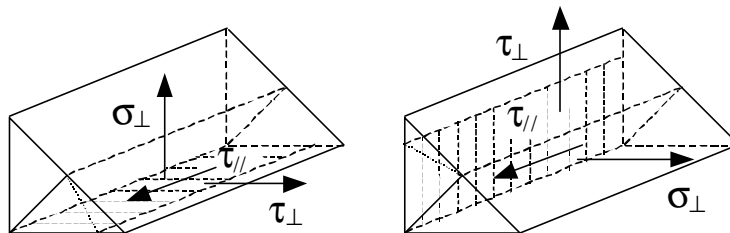
p : piede del cordone

se il cordone è simmetrico si ha:

$$a = p/\sqrt{2}$$



- La sezione di gola deve essere ribaltata su uno dei lati del cordone in modo da identificare le componenti di tensione σ_{\perp} , $\tau_{//}$ e τ_{\perp} :



- Si noti che a seconda del ribaltamento scelto, le σ_{\perp} diventano τ_{\perp} e viceversa; le $\tau_{//}$ restano immutate.



La verifica statica prevede le seguenti limitazioni:

- se sono presenti σ_{\perp} , $\tau_{//}$ e τ_{\perp} :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq \begin{cases} 0.85\sigma_{adm} \\ 0.70\sigma_{adm} \end{cases} \text{ e } |\sigma_{\perp}| + |\tau_{\perp}| \leq \begin{cases} \sigma_{adm} \\ 0.85\sigma_{adm} \end{cases}$$

- se sono presenti σ_{\perp} e τ_{\perp} : $|\sigma_{\perp}| \text{ e } |\tau_{\perp}| \leq \begin{cases} 0.85\sigma_{adm} \\ 0.70\sigma_{adm} \end{cases}$

- se è presente solo σ_{\perp} o $\tau_{//}$ o τ_{\perp} : $|\sigma_{\perp}|, |\tau_{\perp}|, |\tau_{//}| \leq \begin{cases} 0.85\sigma_{adm} \\ 0.70\sigma_{adm} \end{cases}$

- vale la limitazione superiore per Fe360;
- vale la limitazione inferiore per Fe430 o Fe510.

Carichi che sollecitano il cordone

- Le forze (e gli eventuali momenti) che sollecitano il cordone si determinano equilibrando l'azione dei carichi esterni;
- calcolate tali forze (ed eventuali momenti) si possono determinare le corrispondenti componenti di tensione σ_{\perp} , $\tau_{//}$ e τ_{\perp} da utilizzare nella verifica statica del giunto più sollecitato;
- ovviamente si deve scegliere un unico ribaltamento della sezione di gola per l'intero calcolo;
- nel seguito si analizzeranno alcuni casi notevoli.

Carichi che sollecitano il cordone - esempio 1

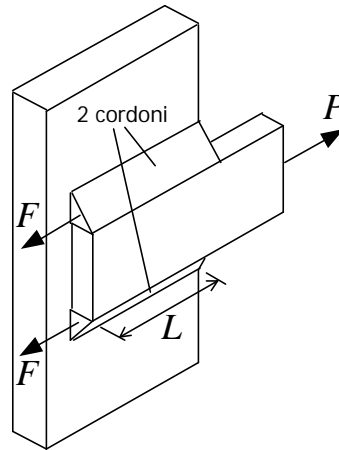
← $2F = P \rightarrow F = P/2$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{//} = \frac{F}{La} = \frac{P}{2La}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\tau_{//} = \frac{F}{La} = \frac{P}{2La}$$



Carichi che sollecitano il cordone - esempio 2

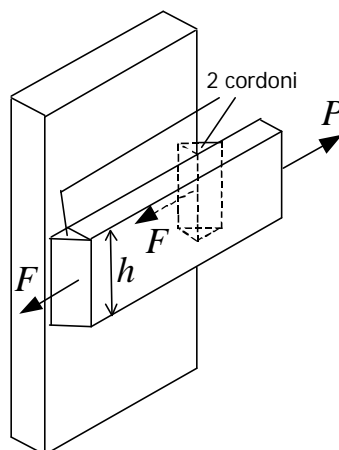
← $2F = P \rightarrow F = P/2$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{ha} = \frac{P}{2ha}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{ha} = \frac{P}{2ha}$$



Carichi che sollecitano il cordone - esempio 3

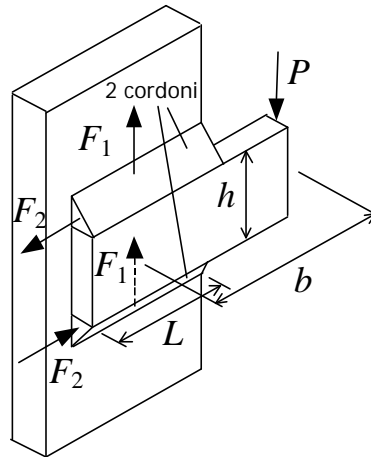
$$\begin{aligned} \leftarrow 2F_1 = P &\rightarrow F_1 = P/2 \\ \curvearrowright F_2 h = Pb &\rightarrow F_2 = Pb/h \end{aligned}$$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_1}{La} = \frac{P}{2La}, \quad \tau_{//} = \frac{F_2}{La} = \frac{Pb}{Lah}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_1}{La} = \frac{P}{2La}, \quad \tau_{//} = \frac{F_2}{La} = \frac{Pb}{Lah}$$



Carichi che sollecitano il cordone - esempio 4

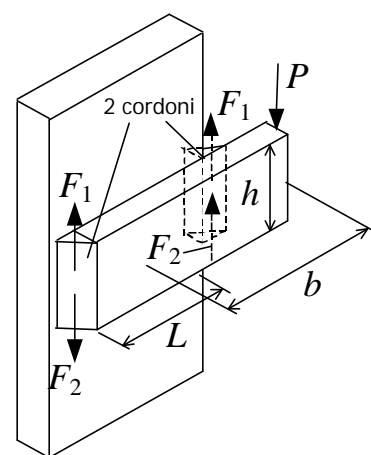
$$\begin{aligned} \uparrow 2F_1 = P &\rightarrow F_1 = P/2 \\ \curvearrowright F_2 L = Pb &\rightarrow F_2 = Pb/L \end{aligned}$$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{//} = \frac{F_1}{ha} = \frac{P}{2ha}, \quad \tau_{//} = \frac{F_2}{ha} = \frac{Pb}{haL}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\tau_{//} = \frac{F_1}{ha} = \frac{P}{2ha}, \quad \tau_{//} = \frac{F_2}{ha} = \frac{Pb}{haL}$$



Carichi che sollecitano il cordone - esempio 5

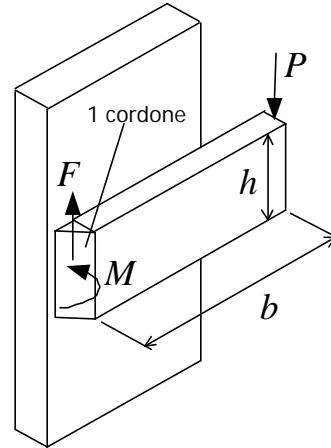
$$\begin{aligned} \uparrow & F = P \\ \curvearrowright & M = Pb \end{aligned}$$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{//} = \frac{F}{ha} = \frac{P}{ha}, \quad \tau_{\perp} = \frac{M}{ah^2/6} = \frac{6Pb}{ah^2}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\tau_{//} = \frac{F}{ha} = \frac{P}{ha}, \quad \sigma_{\perp} = \frac{M}{ah^2/6} = \frac{6Pb}{ah^2}$$



Carichi che sollecitano il cordone - esempio 6

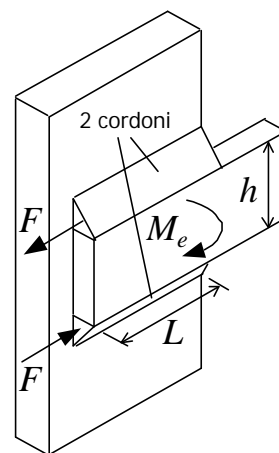
$$\curvearrowright \quad Fh = M \rightarrow F = M_e/h$$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{//} = \frac{F}{La} = \frac{M_e}{Lah}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\tau_{//} = \frac{F}{La} = \frac{M_e}{Lah}$$



Carichi che sollecitano il cordone - esempio 7

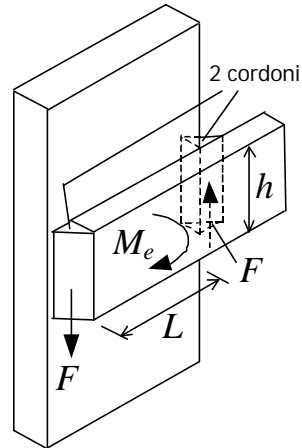
$$\curvearrowright FL = M_e \rightarrow F = M_e / L$$

- Ribaltando la sezione di gola sul supporto:

$$\tau_{//} = \frac{F}{ha} = \frac{M_e}{haL}$$

- Ribaltando la sezione di gola sulla piattabanda:

$$\tau_{//} = \frac{F}{ha} = \frac{M_e}{haL}$$



RESISTENZA A FATICA

- È necessario conoscere la storia di carico in termini di tensione, cioè l'andamento nel tempo della tensione tra valori di tensione massima e minima;
- anziché alla quota alterna di tensione, nel caso dei giunto saldati si fa riferimento al Δ di tensione ($\Delta\sigma$ o $\Delta\tau$);
- nel caso di oscillazioni di ampiezza variabile, i cicli e i Δ di tensione si ricavano con il metodo stair case (versione bath-tub = serbatoio nella CNR-UNI 10011) per ottenere lo spettro dei Δ di tensione
- le curve SN in un diagramma log-log sono formate da una spezzata con tratti di equazione $\Delta\sigma^m \cdot N = costante$ in cui l'esponente m assume valori diversi a seconda del tipo di sollecitazione e del numero di cicli.

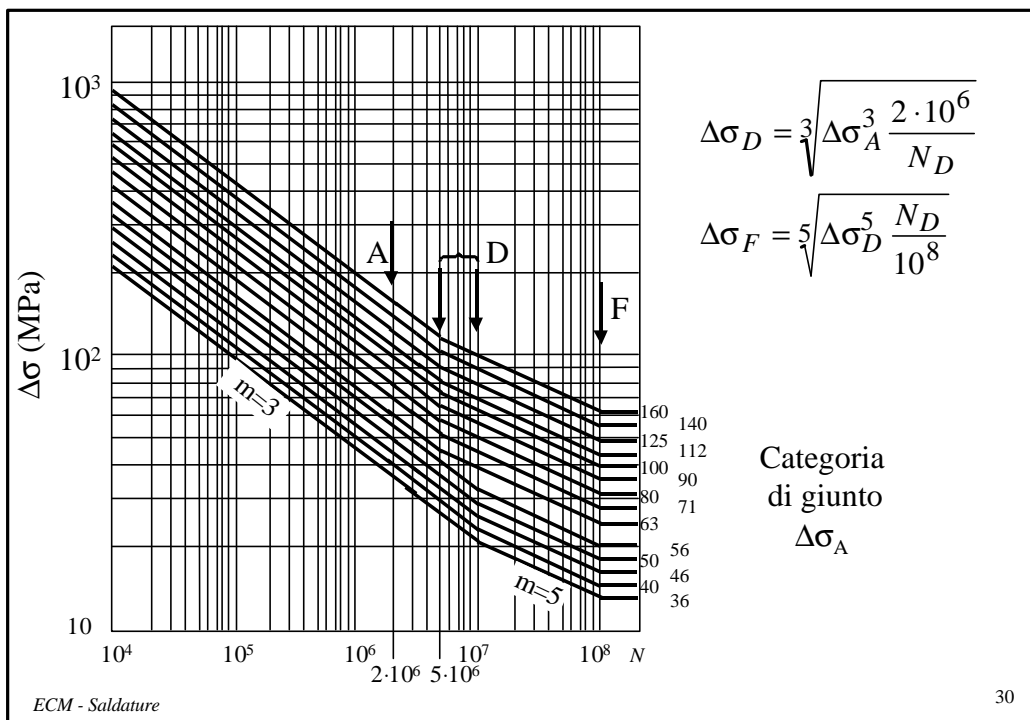


Resistenza a fatica - curve SN per particolari sollecitati con $\Delta\sigma$

- Ogni tipo di giunto è caratterizzato da $\Delta\sigma_A$, corrispondente alla sollecitazione ammissibile di ampiezza costante per $N = 2 \cdot 10^6$ cicli.
- Ai particolari saldati e sollecitati con $\Delta\sigma$, corrisponde un fascio di curve SN con tratti di equazione $\Delta\sigma^m \cdot N = costante$ e in particolare:
 - un fascio di rette parallele con esponente $m = 3$ nel campo $10^4 \leq N \leq N_D$ cicli;
 - $N_D = 5 \cdot 10^6$ cicli per particolari con $\Delta\sigma_A > 56$ MPa;
 - $N_D = 10^7$ cicli per particolari con $\Delta\sigma_A \leq 56$ MPa;
 - un fascio di rette parallele con esponente $m = 5$ nel campo $N_D \leq N \leq 10^8$ cicli;
 - una fascio di rette orizzontali a partire da $N_F = 10^8$ cicli.

ECM - Saldature

29



30



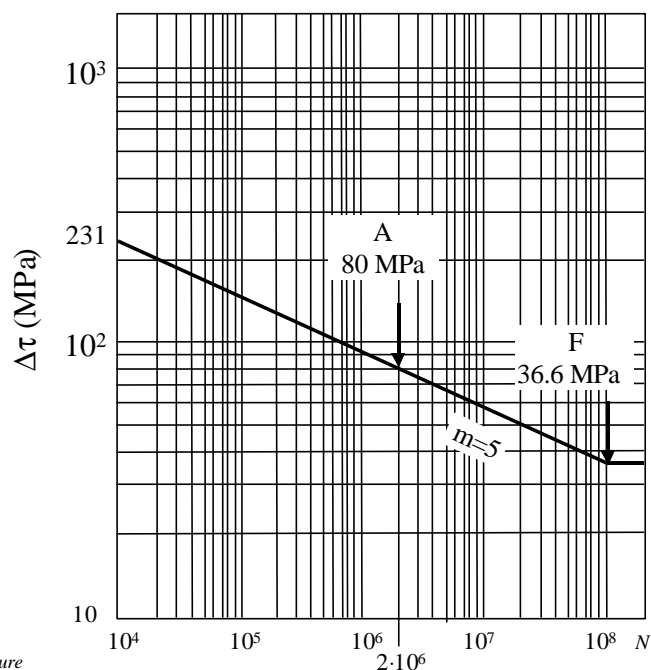
| $\Delta\sigma_A$ | $\Delta\sigma_D$ | $\Delta\sigma_F$ | $\Delta\sigma_A$ | $\Delta\sigma_D$ | $\Delta\sigma_F$ |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 160 | 118 | 65 | 71 | 52 | 29 |
| 140 | 103 | 57 | 63 | 46 | 25 |
| 125 | 92 | 51 | 56 | 33 | 21 |
| 112 | 83 | 45 | 50 | 29 | 18 |
| 100 | 74 | 40 | 46 | 27 | 17 |
| 90 | 66 | 36 | 40 | 23 | 15 |
| 80 | 59 | 32 | 36 | 21 | 13 |

Resistenza a fatica - curva SN per particolari sollecitati con $\Delta\tau$

- Ai particolari saldati e sollecitati con $\Delta\tau$, corrisponde un'unica curva SN (unica categoria 80 di giunto) di equazione

$\Delta\tau^m \cdot N = \text{costante}$ e in particolare:

- una retta con esponente $m = 5$ nel campo $10^4 \leq N \leq 10^8$ cicli;
- una retta orizzontale a partire da $N_F = 10^8$ cicli;





Resistenza a fatica - influenza dello spessore sul D ammissibile

- La resistenza a fatica ($\Delta\sigma_A$) indicata dalla categoria del giunto si riferisce a spessori $t \leq 25$ mm;
- nel caso di spessori $t > 25$ mm essa deve essere corretta (ridotta) come:

$$\Delta\sigma_{A,t} = \Delta\sigma_A \cdot \sqrt[4]{\frac{25}{t}}$$

$\Delta\sigma_A$: Δ di tensione ammissibile (categoria del giunto)

t : spessore in millimetri della parte più sollecitata del particolare

$\Delta\sigma_{A,t}$: Δ di tensione ammissibile corretto

Resistenza a fatica - dettagli

- Nessuna verifica a fatica è richiesta se:
 - tutti i $\Delta\sigma$ sono minori di 26 MPa o comunque di $\Delta\sigma_D$;
 - tutti i $\Delta\tau$ sono minori di 35 MPa;
 - il numero totale di cicli è minore di $N = 10^4$ cicli.
- Per sollecitazioni a Δ costante il limite di fatica è $\Delta\sigma_D$ ($\Delta\tau_D$).
- Per sollecitazioni di ampiezza variabile si usa la regola di Miner;
- ogni Δ al di sotto di $\Delta\sigma_F$ (o $\Delta\tau_F$) può essere trascurato;
- si può utilizzare il metodo del Δ equivalente: per calcolare la $\Delta\sigma_{eq}$ si assume $m=3$ in tutto il campo ($m=5$ per $\Delta\tau_{eq}$)



Regola di Miner: richiami

$$D = \sum \frac{N_i}{N_i^*} = \sum \frac{\alpha_i N_{tot}}{N_i^*}$$

se $\Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D$

$$N_i^* = \frac{\Delta\sigma_A^3 \cdot 2 \cdot 10^6}{\Delta\sigma_i^3}$$

se $\Delta\sigma_i < \Delta\sigma_D$ e $\Delta\sigma_A > 56$ MPa

$$N_i^* = \frac{\Delta\sigma_D^5 \cdot 5 \cdot 10^6}{\Delta\sigma_i^5}$$

se $\Delta\sigma_i < \Delta\sigma_D$ e $\Delta\sigma_A \leq 56$ MPa

$$N_i^* = \frac{\Delta\sigma_D^5 \cdot 10^7}{\Delta\sigma_i^5}$$

nel caso di $\Delta\tau$:

$$N_i^* = \frac{\Delta\tau_A^5 \cdot 2 \cdot 10^6}{\Delta\tau_i^5}$$

$$CS = \frac{1}{D} \quad (\text{in termini di durata})$$

ECM - Saldature

35

Metodo del Δ equivalente

- Serve per calcolare il $\Delta\sigma_{eq}$ (o $\Delta\tau_{eq}$) equivalente allo spettro dei Δ di tensione applicato;
- il $\Delta\sigma_{eq}$ (o $\Delta\tau_{eq}$) è il Δ di tensione di ampiezza costante che, applicato per un numero di cicli N pari al numero totale di cicli dello spettro, origina il medesimo danneggiamento a fatica:

$$\Delta\sigma_{eq} = \sqrt[3]{\sum \frac{\Delta\sigma_i^3 N_i}{N}}, \quad \Delta\tau_{eq} = \sqrt[5]{\sum \frac{\Delta\tau_i^5 N_i}{N}}$$

- La verifica a fatica si effettua confrontando il $\Delta\sigma_{eq}$ (o $\Delta\tau_{eq}$) con il Δ resistente $\Delta\sigma_{res}$ (o $\Delta\tau_{res}$), ricavato dalla linea SN in esame in corrispondenza del numero totale di cicli N dello spettro:

$$\Delta\sigma_{eq} \leq \Delta\sigma_{res} \quad , \quad \Delta\tau_{eq} \leq \Delta\tau_{res}$$

ECM - Saldature

36

| | | |
|-------------------|--|--|
| <p>E.1</p> | <p>Una staffa in acciaio S275 (ex Fe430) è saldata tramite due cordoni d'angolo a un supporto; le dimensioni d'interesse sono: $b = 500$ mm, $h = 180$ mm, $L = 240$ mm, $s = p = 18$ mm. Il carico vale $P = 100$ kN. Ribaltare la sezione resistente sul supporto della staffa e calcolare il coefficiente di sicurezza a resistenza statica. [CS=1.44]</p> | |
| <p>E.2</p> | <p>Una piattabanda alta $h = 100$ mm e spessa $s = 12$ mm viene accostata di piatto ad una parete metallica e saldata ad essa con due cordoni d'angolo, longitudinali e paralleli, aventi piede $p = s$ e lunghezza $L = 80$ mm. Materiale Fe360: $\sigma_{adm} = 160$ MPa. La piattabanda riceve un momento puro M che tende a farla ruotare nel piano di appoggio con la parete. Calcolare il massimo valore di M_e compatibile con la resistenza statica. [M = 9232 Nm]</p> | |
| <p>E.3</p> | <p>Una staffa per l'aggancio di un motore al banco di prova è realizzata in acciaio S355 (ex Fe510). Nel centro della sezione trasversale, sono applicate le due forze $P_1 = 20$ kN e $P_2 = 36$ kN. Le dimensioni di interesse sono: $L = 80$ mm, $b = 40$ mm, $s = 10$ mm. Calcolare il coefficiente di sicurezza nel caso di giunto a T a completa penetrazione, di I classe. [CS=1.88]</p> | |
| <p>E.4</p> | <p>Un giunto saldato di categoria 63 ($\Delta\sigma_D = 46$ MPa per $5 \cdot 10^6$ cicli, $\Delta\sigma_F = 25$ MPa) è sollecitato da cicli di sollecitazione di varia ampiezza secondo il rilievo sperimentale in figura relativo a un periodo ciclico di funzionamento. Sull'asse delle ordinate ogni divisione è pari a 20 MPa. Ricavare i valori delle escursioni $\Delta\sigma$ da considerare per la verifica a fatica del giunto. [$\Delta\sigma_1 = 140$ MPa, $\Delta\sigma_2 = 40$ MPa]</p> | |

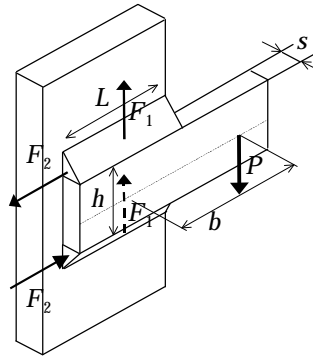


4 Esercizi – Saldature

| | | |
|------------|--|------------------------|
| E.5 | Un giunto saldato di categoria 63 ($\Delta\sigma_D = 46$ MPa per $5 \cdot 10^6$ cicli, $\Delta\sigma_F = 25$ MPa per 10^8 cicli) è sollecitato da cicli di carico di varia ampiezza secondo le indicazioni della tabella a fianco, relative a un ciclo di funzionamento. Calcolare il numero di cicli totale compatibile con la resistenza a fatica del giunto. [N = 325400 cicli] | i |
| | | $\Delta\sigma_i$ [MPa] |
| | | ripetizioni |
| | | 1 |
| | | 180 |
| | | 1 |
| | | 2 |
| 60 | | |
| 1 | | |
| 3 | | |
| 40 | | |
| 2 | | |

Soluzioni esercizi

Una staffa in acciaio S275 (ex Fe430) è saldata tramite due cordoni d'angolo a un supporto; le dimensioni d'interesse sono: $b = 500$ mm, $h = 180$ mm, $L = 240$ mm, $s=p= 18$ mm.
Il carico vale $P=100$ kN. Ribaltare la sezione resistente sul supporto della staffa e calcolare il coefficiente di sicurezza a resistenza statica.



Soluzione

Da CNR UNI 10011, par. 4.1.1 prospetto 4 b, per Fe430 e $t \leq 40$ mm si ricava: $\sigma_{adm} = 190$ MPa
L'azione della forza di carico P viene equilibrata dalle seguenti azioni sviluppate dai 2 cordoni di saldatura:

E.1

$$a = \frac{s}{\sqrt{2}} = \frac{18}{\sqrt{2}} = 12.7 \text{ mm} \quad L = 240 \text{ mm.}$$

Ribaltando la sezione resistente aL sul supporto si ha:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{aL} = \frac{P}{2aL}, \quad \tau_{//} = \frac{F_{//}}{aL} = \frac{P \cdot b}{aL \cdot h}$$

Da CNR UNI 10011, par. 5.1.2.5, per il giunto in esame vale la limitazione statica

$$\sigma_{id} = \sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq 0.7 \cdot \sigma_{adm}$$

che si riscrive come:

$$P \sqrt{\left(\frac{1}{2aL}\right)^2 + \left(\frac{b}{aLh}\right)^2} \leq 0.7 \cdot \sigma_{adm}$$

da cui

$$P = \frac{0.7 \cdot \sigma_{adm}}{\sqrt{\left(\frac{1}{2aL}\right)^2 + \left(\frac{r}{aLh}\right)^2}} = \frac{0.7 \cdot 190}{\sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 12.7 \cdot 240}\right)^2 + \left(\frac{500}{12.7 \cdot 240 \cdot 180}\right)^2}} = 143630 \text{ N} \cong 143.6 \text{ kN}$$

Una piattabanda alta $h = 100$ mm e spessa $s = 12$ mm viene accostata di piatto ad una parete metallica e saldata ad essa con due cordoni d'angolo, longitudinali e paralleli, aventi piede

$p = s$ e lunghezza $L = 80 \cdot \left(1 + \frac{U}{60}\right)$ mm. Materiale Fe360:

$\sigma_{adm} = 160$ MPa. La piattabanda riceve un momento puro M che tende a farla ruotare nel piano di appoggio con la parete.

Calcolare il massimo valore di M_e compatibile con la resistenza statica.

Soluzione:

E.2

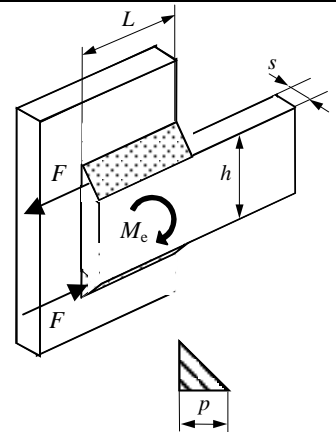
$$F_{\parallel} \cdot h = M$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{\frac{s}{\sqrt{2}} \cdot L} = \frac{M \cdot \sqrt{2}}{h \cdot s \cdot L} \quad \text{e Fe360: } \sigma_{id} \leq 0.85 \sigma_{adm}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\tau_{\parallel}^2} = \tau_{\parallel}$$

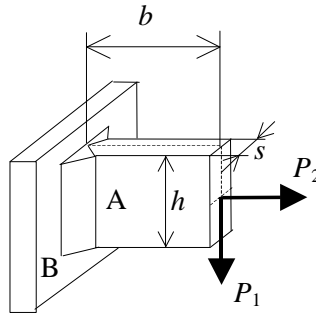
$$\tau_{\parallel} \leq 0.85 \cdot \sigma_{adm}$$

$$M = 0.85 \cdot \sigma_{adm} \cdot h \cdot \frac{s}{\sqrt{2}} L = 9232 \text{ Nm}$$



4 Esercizi – Saldature

Una staffa per l'aggancio di un motore al banco di prova è realizzata in acciaio S355 (ex Fe510). Nel centro della sezione trasversale, sono applicate le due forze $P_1=20$ kN e $P_2=36$ kN. Le dimensioni di interesse sono: $L = 80$ mm, $b = 40$ mm, $s = 10$ mm. Calcolare il coefficiente di sicurezza nel caso di giunto a T a completa penetrazione, di I classe.



Soluzione

Da CNR UNI 10011, par. 4.1.1 prospetto 4 **lb**, per Fe510 $\alpha \leq 40$ mm si ricava: $\sigma_{adm} = 240$ MPa
 Da CNR UNI 10011, par. 5.1.1 prospetto 5 **lb**, per giunto a T a completa penetrazione di I classe risulta: $\sigma_{id} \leq \sigma_{adm}$ cioè $\sigma_{id} \leq 240$ MPa, e inoltre si ha

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3\tau_{\parallel}^2}$$

Il giunto è a T a completa penetrazione quindi la sezione resistente è larga $s = 10$ mm (spessore della staffa) e lunga $L = 80$ mm (lunghezza del cordone).

Ribaltando la sezione resistente sL sul supporto si ha:

$$\sigma_{\perp(P_1)} = \frac{M_{\perp}}{sL^2/6} = \frac{6 \cdot P_1 \cdot b}{sL^2} = \frac{6 \cdot 20000 \cdot 40}{10 \cdot 80^2} = 75 \text{ MPa} \quad \tau_{\parallel(P_1)} = \frac{P_1}{sL} = \frac{20000}{10 \cdot 80} = 25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp(P_2)} = \frac{P_2}{sL} = \frac{36000}{10 \cdot 80} = 45 \text{ MPa}$$

La verifica statica si riscrive come:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{(\sigma_{\perp(P_1)} + \sigma_{\perp(P_2)})^2 + 3\tau_{\parallel(P_1)}^2} = 128 \text{ MPa}$$

Il coefficiente di sicurezza risulta essere pari a:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{id}} = \frac{240}{128} = 1.88$$

E.3

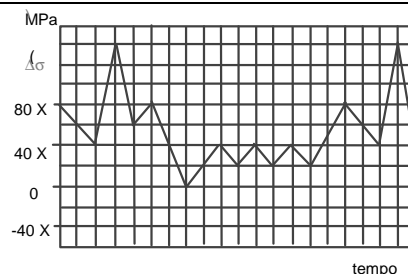
Un giunto saldato di categoria 63 ($\Delta\sigma_D = 46$ MPa per $5 \cdot 10^6$ cicli, $\Delta\sigma_F = 25$ MPa) è sollecitato da cicli di sollecitazione di varia ampiezza secondo il rilievo sperimentale in figura relativo a un periodo ciclico di funzionamento. Sull'asse delle ordinate ogni divisione è pari a 20 Mpa. Ricavare i valori delle escursioni $\Delta\sigma$ da considerare per la verifica a fatica del giunto.

Soluzione:

$$\Delta\sigma_1 = 140 \quad n = 1$$

$$\Delta\sigma_2 = 40 \quad n = 1$$

$$\Delta\sigma_3 = 20 < \Delta\sigma_F \text{ non conta}$$



E.4

Un giunto saldato di categoria 63 ($\Delta\sigma_D = 46$ MPa per $5 \cdot 10^6$ cicli, $\Delta\sigma_F = 25$ MPa per 10^8 cicli) è sollecitato da cicli di carico di varia ampiezza secondo le indicazioni della tabella a fianco, relative a un ciclo di funzionamento. Calcolare il numero di cicli totale compatibile con la resistenza a fatica del giunto.

| i |
|------------------------|
| $\Delta\sigma_i$ [MPa] |
| ripetizioni |
| 1 |
| 180 |
| 1 |
| 2 |
| 60 |
| 1 |
| 3 |
| 40 |
| 2 |

Soluzione

Categoria 63 \rightarrow $\Delta\sigma_A = 63$ MPa per $2 \cdot 10^6$ cicli
 $\Delta\sigma_D = 46$ MPa per $5 \cdot 10^6$ cicli
 $\Delta\sigma_F = 25$ MPa per 10^8 cicli

E.5

Si calcolano le % di applicazione dei blocchi di carico, ricavando le seguenti α_i :

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_1 = 180 \text{ MPa} & \quad \alpha_1 = 1/4 = 0.25 \\ \Delta\sigma_2 = 60 \text{ MPa} & \quad \alpha_2 = 1/4 = 0.25 \\ \Delta\sigma_3 = 40 \text{ MPa} & \quad \alpha_3 = 2/4 = 0.5 \end{aligned}$$

La regola di Miner si scrive come: $N_{tot} \cdot \sum \frac{\alpha_i}{N_i^*} = 1$ dove N_i^* è il numero di cicli che sul

diagramma SN corrisponde al $\Delta\sigma_i$ in esame.

Dal diagramma di pag. 25 degli appunti (capitolo “Collegamenti saldati”) si ricava che per $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_2$ la pendenza da considerare è $m = 3$, mentre per $\Delta\sigma_3$ la pendenza è $m = 5$, quindi

$$N_1^* = \frac{\Delta\sigma_A^3}{\Delta\sigma_1^3} \cdot 2 \cdot 10^6 = \frac{63^3}{180^3} \cdot 2 \cdot 10^6, \quad N_2^* = \frac{\Delta\sigma_A^3}{\Delta\sigma_2^3} \cdot 2 \cdot 10^6 = \frac{63^3}{60^3} \cdot 2 \cdot 10^6$$

$$\text{e } N_3^* = \frac{\Delta\sigma_D^5}{\Delta\sigma_3^5} \cdot 5 \cdot 10^6 = \frac{46^5}{40^5} \cdot 5 \cdot 10^6$$

Il numero di cicli totale compatibile con la resistenza a fatica del giunto risulta quindi

$$N_{tot} = \frac{1}{\frac{\alpha_1}{N_1^*} + \frac{\alpha_2}{N_2^*} + \frac{\alpha_3}{N_3^*}} = \frac{1}{\frac{0.25 \cdot 180^3}{63^3 \cdot 2 \cdot 10^6} + \frac{0.25 \cdot 60^3}{63^3 \cdot 2 \cdot 10^6} + \frac{0.5 \cdot 40^5}{46^5 \cdot 5 \cdot 10^6}} \cong 325400 \text{ cicli}$$