

CENNI SULLA FATICA DEI GIUNTI SALDATI – SEI MODI PER CONTRASTARE LA FATICA DEL MATERIALE

Cos'è la fatica?

La fatica del materiale è responsabile dell'80-90% di tutte le rotture che avvengono nei prodotti. La fatica causa la rottura del materiale sottoposto a



Una goccia costante finisce, con il tempo, per erodere la roccia.

determinate sollecitazioni, che sarebbero tuttavia inferiori al carico di rottura del materiale stesso. Un esempio evidente è costituito dalle gocce d'acqua che, cadendo in continuazione su una pietra, con l'andare del tempo riescono a scavarla.

I tipi di carico a cui il materiale è sottoposto possono essere diversi:

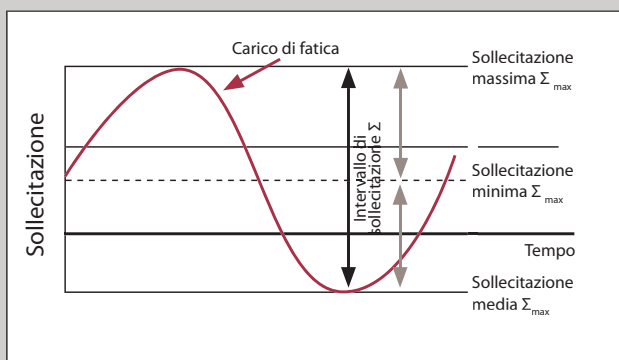
- un carico che viene ripetutamente applicato e rimosso
- vibrazioni (per esempio in un veicolo in marcia)
- carico causato dal vento (per esempio sull'albero di una barca)

Perché si verifica la fatica?

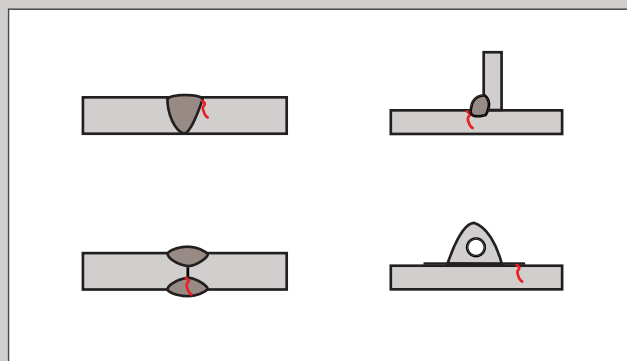
Tutti i tipi di carichi ripetuti ai quali una struttura viene sottoposta, sono carichi di fatica. I carichi di fatica possono essere considerati gli aggressori del materiale. Attaccano, infatti, i punti più deboli di una struttura, che generalmente si trovano nelle saldature, nei tagli eseguiti a calore e in determinati difetti intrinseci della struttura. La resistenza a fatica è la difesa che la struttura oppone al carico da fatica. Se tale carico supera la resistenza della struttura, si

verifica la fatica del materiale.

Sono necessari due parametri per definire compiutamente il carico da fatica: l'intervallo di sollecitazione Σr e il valore R. Il coefficiente di sollecitazione R è il rapporto fra la sollecitazione massima e quella minima alle quali la struttura viene sottoposta. L'intervallo di sollecitazione è la differenza fra questi due estremi, come visualizzato nel diagramma a sinistra.



Definizioni di un carico da fatica semplice



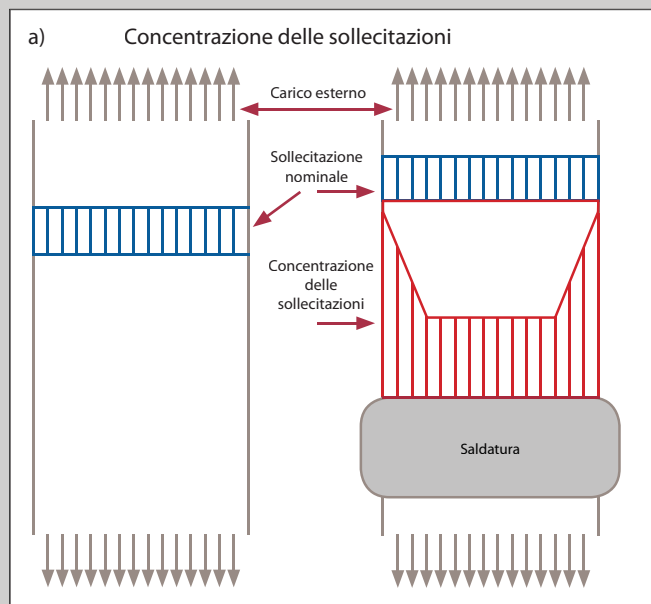
Punti nei quali solitamente inizia la fatica, in un giunto saldato.

Dove si verifica la fatica?

I giunti saldati sono, generalmente, i punti della struttura meno resistenti alla fatica. I giunti saldati diventano, quindi, i fattori determinanti nel calcolare la resistenza alla fatica dell'intera struttura. La figura a destra, nella pagina precedente, mostra le aree dove solitamente si verificano le rotture da fatica.

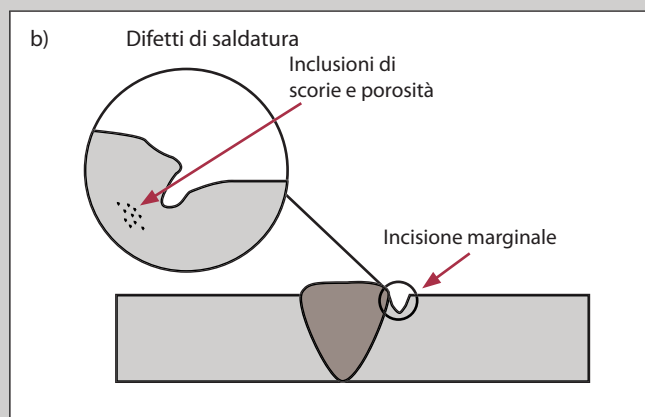
La bassa resistenza a fatica dei giunti saldati è dovuta principalmente a tre fattori:

- a) concentrazione delle sollecitazioni
- b) difetti di saldatura
- c) sollecitazioni dovute alle tensioni interne del materiale



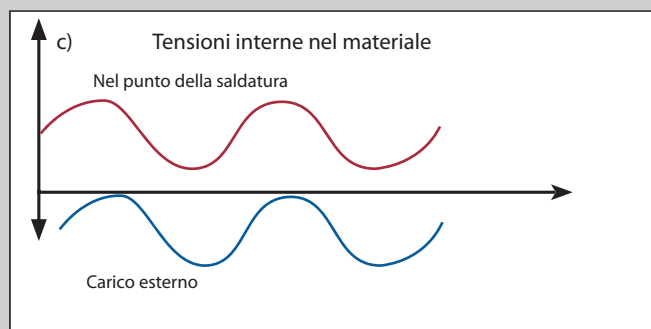
Concentrazione delle sollecitazioni su un rinforzo saldato

Ogni saldatura costituisce una concentrazione di sollecitazioni. Nell'area attorno alla saldatura, la sollecitazione è svariata volte maggiore rispetto a quella normale a cui è sottoposta la lamiera.



I difetti di saldatura

Nella saldatura possono verificarsi difetti, come incisioni marginali o microinclusioni di scorie. Questo facilita la formazione di spaccature dovute alla fatica, perché i difetti stessi agiscono, più o meno, come se fossero delle spaccature del materiale.



Tensioni interne nel materiale

La saldatura provoca la formazione di tensioni interne nel materiale. Di conseguenza, il materiale adiacente alla saldatura stessa è soggetto a una sollecitazione più elevata rispetto a quella del carico applicato.

Il grafico mostra la differenza fra la sollecitazione alla quale il giunto saldato è sottoposto, rispetto a quella applicata sull'intera struttura.

Sei modi per ridurre il rischio di fatica

La fatica del materiale si verifica quando i carichi/gli attacchi sono troppo elevati/gravosi per la resistenza/la difesa che il materiale è in grado di opporre. Si tratta di una situazione che può verificarsi facilmente, anche perché i carichi applicati alle strutture vengono solitamente aumentati quando si impiega acciaio altoresistenziale. Il problema è che la resistenza a fatica non aumenta proporzionalmente alla resistenza statica. Per contrastare il fenomeno della fatica, bisogna utilizzare un design creativo, che riesca ad aumentare la resistenza a fatica. L'istogramma a destra riassume i vari metodi utilizzati per incrementare la resistenza a fatica.

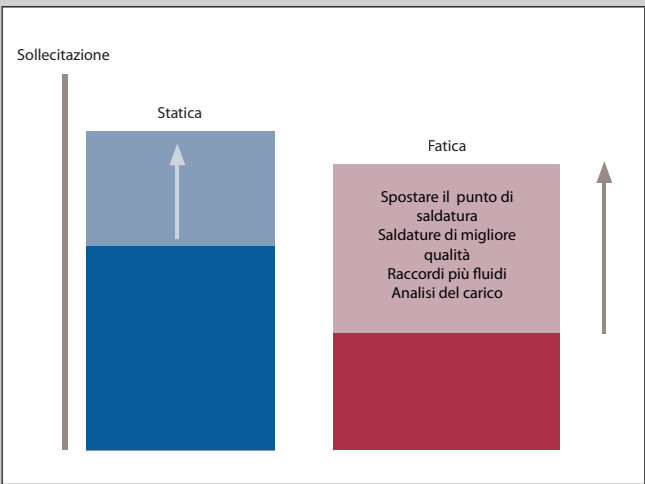
Per aumentare la resistenza a fatica delle saldature e sfruttare al massimo le caratteristiche dell'acciaio altoresistenziale, si possono usare alcuni metodi ed espedienti. Queste soluzioni possono essere classificate in due categorie, la prima delle quali consiste di quattro procedimenti:

- 1 Creare un flusso di forze il più lineare possibile
- 2 Migliorare la qualità della saldatura
- 3 Applicare il carico lungo tutta la saldatura
- 4 Eseguire la saldatura in un'area meno sollecitata

La seconda categoria comprende soluzioni tese all'utilizzo ottimale dei procedimenti della prima categoria:

- 5 Analisi dei carichi
- 6 Accurato dimensionamento della struttura

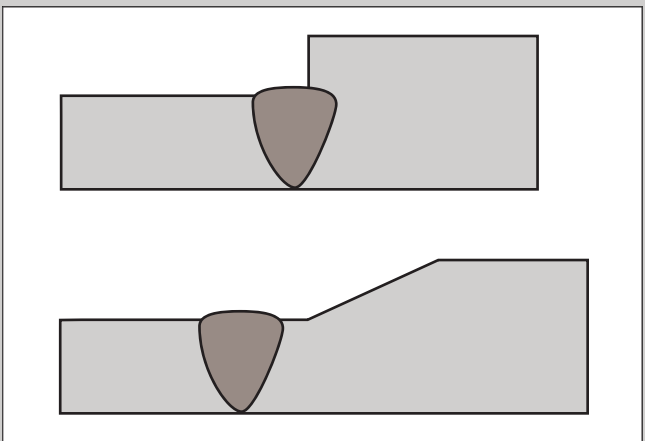
1 Creare un flusso di forze il più lineare possibile
È importante che il raccordo fra saldature e superfici circostanti sia il più fluido possibile, perché in tal modo vengono fluidificate anche le linee di forza attorno alle saldature. Una struttura con linee geometriche spezzate favorisce la concentrazione delle sollecitazioni in punti che poi non sono adatti per le saldature. Un buon esempio, in tal senso, è quando si uniscono per saldatura due lamiere di spessore differente. La figura a destra mostra proprio questa situazione, illustrando come la soluzione in basso sia quella che offre la maggiore resistenza a fatica.



Per poter aumentare il livello di sollecitazioni sulla struttura, è necessario aumentare la sua resistenza a fatica.

	Concentrazione delle sollecitazioni	Difetti di saldatura	Tensioni interne del materiale
Creare un flusso di forze il più lineare possibile	X		
Saldature di migliore qualità	X	X	
Applicare il carico lungo tutta la saldatura	X	X	X
Eseguire la saldatura in un'area meno sollecitata	X	X	X

Tenere presente che i vari metodi possono integrarsi fra loro.

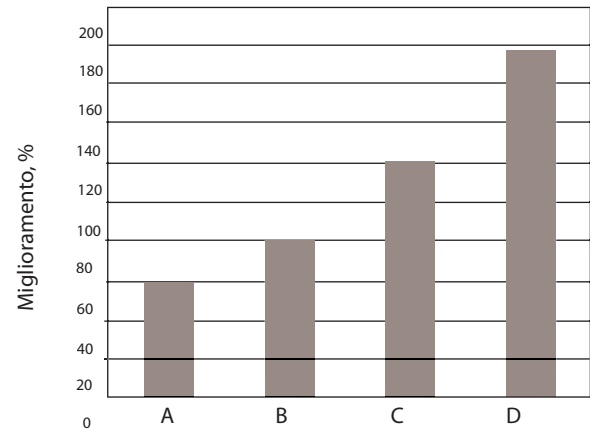


Un flusso di forze lineare, in prossimità del punto di saldatura, aumenta la resistenza a fatica.

2 Saldature di migliore qualità

La qualità della saldatura è importante, soprattutto in funzione della resistenza a fatica del giunto saldato. Perciò è importante controllare sempre la qualità della saldatura. Ciò significa, per esempio, controllare che vi sia un buon raccordo fra saldature e superfici circostanti, verificando il numero e le dimensioni dei difetti di saldatura. Un flusso di forze ben fluido attorno alla saldatura si ottiene raccordando in modo morbido il giunto e la lamiera circostante. In una saldatura di testa, per esempio, una radice di saldatura difettosa può compromettere la resistenza a fatica dell'intero giunto, anche se la sommità della saldatura è di ottima qualità. La figura a destra mostra il miglioramento della resistenza a fatica di un giunto longitudinale rispetto a una saldatura di testa convenzionale.

Anche in questo caso, la qualità della saldatura può essere migliorata grazie a trattamenti successivi, quali ad esempio la rifusione TIG. La rifusione TIG produce un passaggio più dolce dal giunto saldato alla lamiera circostante, riducendone al contempo il numero di difetti. D'altro canto, un metodo di



- A Una prova non distruttiva (NDT) o supporto alla radice.
- B Cordone a doppia V della saldatura/radice/supporto ceramico alla radice
- C Cordone a doppia V della saldatura/radice, esigenze relative al raccordo saldatura/lamiera
- D Cordone a doppia V della saldatura/radice /smerigliatura della saldatura + NDT

Influenza dei vari accorgimenti sulla qualità della saldatura

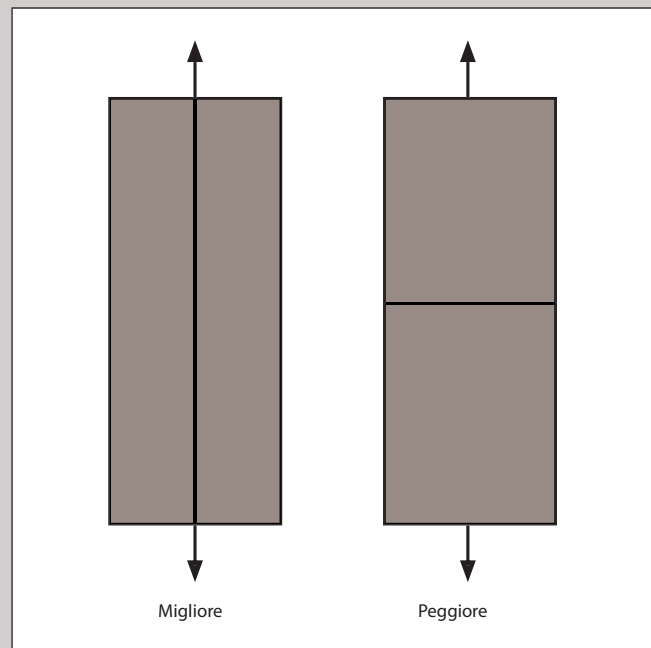
martellatura influisce sulle sollecitazioni interne del materiale, così come è possibile migliorare il flusso di forze attorno alla saldatura ed eliminare alcuni difetti.



I trattamenti successivi alla saldatura possono eliminarne alcuni difetti.

3 Applicazione del carico in senso longitudinale rispetto alla saldatura, anziché in senso trasversale

La resistenza a fatica di un giunto saldato soggetto a carico longitudinale è circa 1,25 volte più elevata rispetto a quella di un giunto saldato soggetto a un carico trasversale. Questo è dovuto al fatto che i carichi longitudinali provocano minori sollecitazioni lungo la saldatura.



Orientare la saldatura lungo la direzione delle linee di forza, anziché

4 Eseguire la saldatura in un'area meno sollecitata

Le sollecitazioni a cui è soggetta una struttura non sono dovunque le stesse, ma variano da un punto all'altro della struttura. Uno degli esempi migliori è dato dall'anima di una trave soggetta a piegatura. La figura qui a destra mostra in quali punti della trave il costruttore di una gru mobile ha deciso di eseguire le saldature. Al centro della trave le fluttuazioni del carico sono basse, se confrontate con quelle esistenti alle estremità. È anche consigliabile posizionare parti non soggetti a carico al centro della trave, se quest'ultima è sottoposta a forze di piegatura.

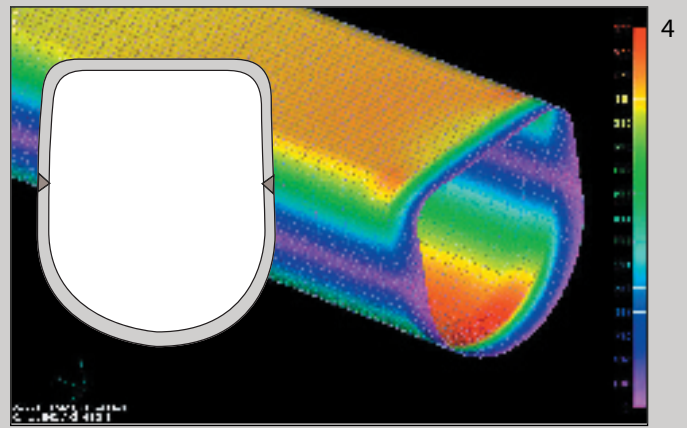
5 Analisi dei carichi

L'analisi dei carichi consiste nello studio e nel calcolo dei carichi ai quali la struttura sarà soggetta nel corso della propria vita operativa. Un fattore importante da determinare è il numero dei cicli di carico (cioè il numero di volte che alla struttura viene applicato e poi disapplicato un carico) nel corso della propria vita operativa. Poiché molte strutture non sono soggette al massimo del carico in tutti cicli, è anche importante individuare la distribuzione fra l'entità dei carichi individuali. Questa distribuzione è conosciuta con il nome di spettro dei carichi. In sintesi, i fattori importanti per la distribuzione del carico sono i seguenti:

- Numero dei cicli di carico (numero delle volte in cui il carico è applicato e disapplicato)
- Spettro dei carichi (distribuzione della loro entità)

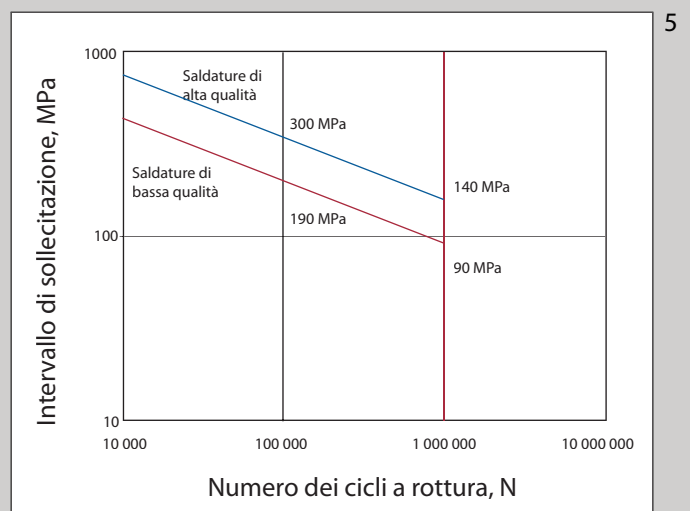
Numero dei cicli di carico

Il numero dei cicli di carico è molto importante per determinare l'entità massima del carico applicabile a una struttura saldata. Una saldatura di scarsa qualità, in una struttura che si presume abbia una durata operativa pari a un milione di cicli, può essere caricata fino a 100 MPa, come mostrato dalla curva rossa nella figura qui a destra. Invece, se la stessa struttura sarà soggetta a soli 100.000 cicli, il carico massimo applicabile potrà essere aumentato a 280 MPa. La curva blu nella figura a lato mostra le stesse condizioni, ma con una saldatura di qualità più elevata. La figura mostra anche la combinazione fra il numero di cicli e una saldatura di migliore qualità.



Eseguire la saldatura in un'area meno sollecitata (colore viola)

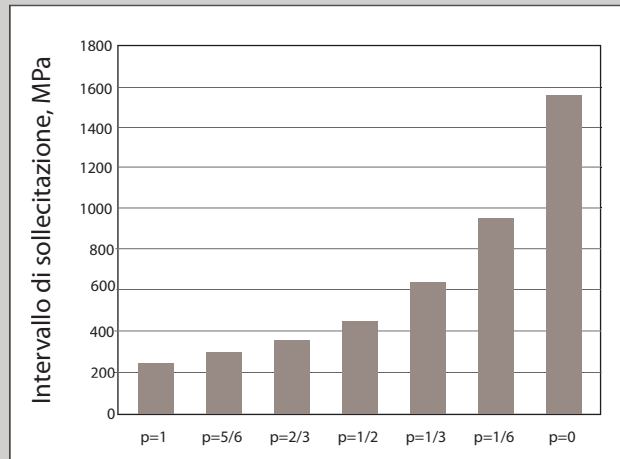
Questi metodi riguardano la resistenza a fatica. Per determinare se questi metodi siano necessari e il punto dove debbano essere applicati, bisogna svolgere un'analisi dei carichi e del dimensionamento della struttura.



Resistenza a fatica come funzione del numero di cicli per due saldature di diversa qualità.

Spettro dei carichi

Molte valutazioni sulla fatica sono eseguite considerando lo spettro a pieno carico. Per spettro a pieno carico s'intende che tutti i cicli di carico siano della stessa entità. Nella maggior parte dei casi reali, però, lo spettro a pieno carico non si verifica. Un buon esempio può essere il confronto tra una gru portuale e una gru mobile. Una gru portuale solleva sempre container a pieno carico, il che significa lavorare su uno spettro di carichi elevati. In una gru mobile, invece, a fronte di un numero limitato di sollevamenti a pieno carico e con il braccio completamente esteso, corrisponde una maggioranza di sollevamenti di piccola entità. L'entità dello spettro dei carichi può essere specificata dal parametro "p". Per una gru portuale il parametro "p" è quasi 1, cifra che corrisponde allo spettro a pieno carico. In una gru mobile lo spettro di carichi è molto più basso, quindi il valore di "p" è vicino allo 0. La figura qui a destra mostra l'effetto



risurrezione influenza dei vari spettri di carico per $N = 100.000$ cicli. Il prerequisito fondamentale, per sfruttare al massimo le caratteristiche di un acciaio altoresistenziale, è di individuare il corretto spettro di carico della struttura.

dei vari spettri di carico. La figura mostra l'intervallo massimo ammissibile di sollecitazione per 100.000 cicli, con vari spettri di carico, per una saldatura di testa.

6 Dimensionamento

Il dimensionamento è, in generale, il processo con il quale i carichi applicati alla struttura (attacco) sono confrontati con la resistenza del materiale (difesa). Un dimensionamento accurato è importante, se si vogliono aumentare i limiti massimi di sollecitazione.

Perciò è importante individuare i punti forti e i punti deboli della struttura. Nei punti forti, per esempio, lo spessore del materiale può essere ridotto. I punti deboli, invece, possono essere ridisegnati oppure il metodo dell'eventuale saldatura può essere migliorato.

HARDOX®
WEAR PLATE

WELDOX®
STRUCTURAL STEEL PLATE

La lamiera antiusura HARDOX e la lamiera strutturale WELDOX sono prodotte esclusivamente da SSAB Oxelösund. HARDOX e WELDOX sono marchi commerciali depositati della SSAB Oxelösund.

SSAB
OXELÖSUND

SSAB Oxelösund AB
SE-613 80 Oxelösund
Svezia

Tel. +46 155 25 40 00
Fax +46 155 25 40 73
www.ssabox.com
www.hardox.com