

# RESISTENZA A FATICA DI GIUNTI SALDATI D'ANGOLO IN ACCIAIO DA COSTRUZIONE

B. Atzori, G. Meneghetti

*Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Padova*

*Via Venezia 1 - 35131 Padova*

## Sommario

In questo lavoro viene affrontato il problema della definizione della resistenza a fatica di giunzioni saldate in acciaio da costruzione sollecitate assialmente in termini di intensità del campo di tensione in prossimità del piede del cordone di saldatura, sfruttando una interpretazione fisica data per lo stato di sollecitazione in tale zona. Si sono considerati giunti con doppio irrigidimento saldati d'angolo con spessore del piatto principale variabile da 13 a 100 mm e dell'irrigidimento variabile da 3 a 220 mm. I risultati sperimentali sono stati ricavati dalla letteratura e poi sintetizzati applicando la banda di dispersione unificata valida per gli acciai da carpenteria, già ricavata in passato attraverso la rianalisi di numerosi risultati sperimentali.

## Abstract

*This work deals with the fatigue strength evaluation of fillet welded joints in structural steel subjected to axial load in terms of the local stress field evaluated near the weld toe. This approach has been recently supported by a physical interpretation and a complete analytic demonstration. Basing on the local approach, some experimental results taken from literature, obtained on joints with transverse non-load carrying attachments, have been fitted with a unified scatter band already proposed in the past by re-analysing thousands of experimental results.*

## 1. Introduzione

Per caratterizzare il comportamento a fatica delle strutture saldate ed in particolare dei giunti saldati d'angolo, è stato evidenziato già da tempo come sia determinante il valore dello stato di deformazione locale presente in prossimità della zona di innesco cricca e come tale parametro, rilevato sperimentalmente mediante estensimetri [1] o calcolato mediante tecniche numeriche [2], possa essere utilizzato per determinare in maniera univoca, con una unica curva di resistenza a fatica, il comportamento di giunti saldati per fusione di geometria diversa.

Il metodo risulta del tutto diverso da quelli oggi suggeriti dalle normative di progettazione che, basandosi sullo stato tensionale nominale (e non locale, nemmeno nel caso degli approcci di tipo hot-spot) richiedono invece diverse curve di resistenza a fatica al variare della geometria del giunto e delle sue dimensioni assolute. Solo recentemente è stata data una giustificazione della validità dell'approccio basata su una interpretazione fisica dello stato tensionale nella zona del piede di saldatura di giunti in lega leggera saldati a croce [7], giungendo inoltre a determinare la curva di progetto a fatica per tali giunti sulla base della applicazione di questo concetto a diverse serie di risultati di prove di fatica già precedentemente

pubblicate da S. J. Maddox.

Contemporaneamente è stata proposta una formulazione analitica completa [8], che consente di esplicitare lo stato tensionale locale in prossimità del piede del cordone di saldatura in maniera formalmente analoga a quella comunemente utilizzata nella meccanica della frattura.

Dato l'interesse e la generalità di questa nuova formulazione, essa viene utilizzata in questa nota per la derivazione di una curva di progetto a fatica per i giunti saldati in acciaio, basata sul campo locale di tensione o di deformazione in prossimità del piede del cordone di saldatura e pertanto unica indipendentemente dalla geometria del giunto e dalle sue dimensioni assolute.

Rispetto a precedenti formulazioni basate su rilievi sperimentali [1, 5, 6] o su valutazioni numeriche [2], viene fornita in questa sede una giustificazione teorica dei risultati trovati, vengono individuati i limiti di applicabilità dell'approccio locale (cosa questa molto importante, specie nel caso di rilevazioni sperimentali mediante estensimetri) e vengono definiti i criteri di corrispondenza tra valutazioni numeriche e rilevazioni estensimetriche.

## 2. Fondamenti teorici

La presente analisi farà riferimento ad un giunto saldato d'angolo simmetrico, schematizzabile come indicato in fig. 1, in condizioni di carico assiali. In un giunto di questo tipo la rottura per fatica si innesca in genere al piede del cordone di saldatura, propagandosi poi attraverso il materiale base della lamiera principale, per cui si farà riferimento a questa tipologia di rottura.

Secondo la formulazione proposta da P. Lazzarin e R. Tovo in [8] lo stato tensionale locale sulla superficie della lamiera in prossimità del piede del cordone di saldatura è esprimibile (con il significato dei simboli di fig. 1) mediante la relazione:

$$\sigma_x = \frac{0.423 \cdot K_1}{x^{0.326}} \quad \text{e} \quad K_1 = k_1 \cdot \sigma_g \cdot T^{0.326}$$

in cui  $K_1$  è un parametro analogo al fattore di intensificazione delle tensioni  $K_I$  della meccanica della frattura,  $k_1$  è un coefficiente di forma (dipendente solo dalla geometria del giunto) e  $\sigma_g$  la tensione nominale sulla lamiera principale di spessore  $T$

Il coefficiente di forma  $k_1$  dovrebbe essere determinato con l'aiuto di analisi numeriche (ad esempio utilizzando gli elementi finiti). La geometria a cui si fa riferimento in questa nota è stata però già accuratamente analizzata in [8] e per essa è stata proposta la espressione:

$$k_1 = A_1 + B_1 \cdot e^{\alpha_1 \left(\frac{2\theta}{T}\right)} + C_1 \cdot e^{\beta_1 \left(\frac{2\theta}{T}\right) + \gamma_1 \left(\frac{\theta}{T}\right)}$$

con:

$$A_1=1.212, B_1=0.495, C_1=-1.259; \alpha_1=-0.985, \beta_1=-1.120, \gamma_1=-0.485$$

Tale espressione, applicata a titolo d'esempio ad una delle geometrie studiate nella ref. [3], fornisce il campo di tensione riportato con tratto continuo in fig. 2. Nella stessa figura è stato riportato per confronto il campo di tensione calcolato con gli elementi finiti nell'ipotesi di

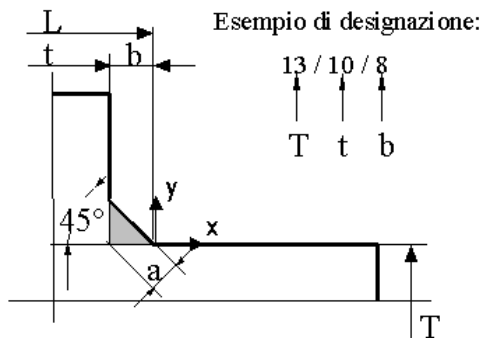


fig. 1: simboli e designazione adottati per descrivere la geometria dei giunti.

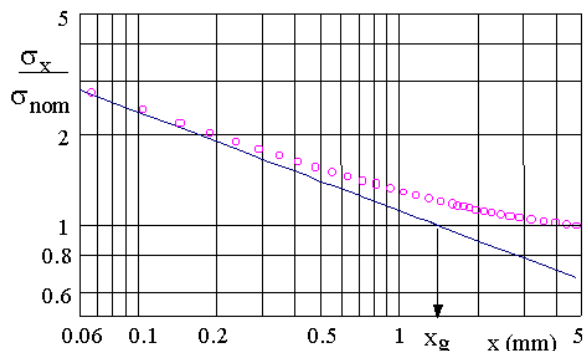


fig. 2: campo di tensione calcolato per i giunti N° 1 e 5 di Tab. 1

deformazione piana. Risulta evidente la ottima corrispondenza tra i risultati ottenuti con gli elementi finiti e quelli trovati con l'espressione parametrica precedentemente ricordata nelle immediate vicinanze del piede del cordone di saldatura.

Al crescere della distanza da tale punto i risultati numerici tendono naturalmente alla tensione nominale, mentre il campo di tensione dovuto a K1, in maniera del tutto analoga a quanto avviene nella meccanica della frattura, non risente di questa influenza. Ciò comporta un progressivo discostarsi del campo di tensione locale dal campo di tensione effettivo presente sulla superficie della lamiera, come evidenziato in fig. 2. L'andamento del campo di tensione effettivo nella zona di transizione della tensione locale dovuta a K1 alla tensione nominale potrebbe essere correttamente valutato tenendo conto della componente di sollecitazione per taglio, esprimibile con un coefficiente K2 analogo a quello K1 precedentemente definito [8]. In questa sede si ritiene sufficiente e più semplice, dal punto di vista applicativo, sostituire l'andamento reale continuo con la spezzata indicata con tratto più spesso in fig. 2, che prolunga l'effetto locale sino alla distanza  $x_g$  dal piede del cordone di saldatura per poi passare alla tensione nominale  $\sigma_g$ . Di questo fatto si dovrà ovviamente tener conto nel caso che i risultati ottenuti in questo lavoro volessero venire applicati mediante rilevazione sperimentale dello stato di tensione locale. Infatti, mentre l'andamento semplificato qui assunto consente di separare nettamente la distanza di rilevazione della tensione dal piede del cordone di saldatura richiesta da un approccio locale rispetto a quella richiesta da un approccio nominale, nella realtà tale passaggio sarà graduale ed i valori calcolati numericamente o rilevati sperimentalmente saranno più elevati, nell'intorno di  $x_g$ , rispetto a quelli a cui si farà riferimento in questa sede.

Con riferimento alle particolari geometrie elencate in tabella 1 [3, 4] (con cui sono stati ottenuti i risultati sperimentali a fatica che verranno utilizzati nel seguito), sono stati calcolati, con le formule precedentemente ricordate, i coefficienti di forma  $k_1$  e sono stati caratterizzati i campi di tensione locali mediante due parametri che indicano rispettivamente il livello di intensificazione del campo locale (rispetto alla tensione nominale) e la estensione del campo stesso (cioè la distanza massima dal piede del cordone di saldatura a cui si può arrivare per una valutazione del campo di tensione locale). Per definire il

livello del campo si è utilizzato il rapporto tra il fattore di intensificazione delle sollecitazioni dei giunti saldati  $K_w = \sigma_x \times 0.326$  (già definito in [7]) e la tensione nominale  $\sigma_g$ . Per definire la estensione del campo si è utilizzata la distanza  $x_g$  precedentemente definita, anche se essa, per le ragioni esposte, deve essere utilizzata con cautela nelle applicazioni pratiche. Tutti i valori delle diverse grandezze calcolate sono stati riportati in tabella 1.

Tab. 1: parametri geometrici e di intensità del campo di tensione in prossimità del piede del cordone dei giunti saldati con irrigidimenti trasversali in acciaio da costruzione provati a fatica da Maddox [3] e Gurney [4].

Giunto	T (mm)	t (mm)	b (mm)	2b/T	t/T	k1	$K_w / \sigma_g$ (mm <sup>0.326</sup> )	$x_g$ (mm)
1	13	10	8	1.231	0.769	1.141	1.114	1.39
2	50	50	16	0.640	1.0	1.097	1.661	4.74
3	100	50	16	0.320	0.5	0.8828	1.676	4.88
4	13	3	5	0.769	0.231	0.9684	0.9452	0.84
5	13	10	8	1.231	0.769	1.141	1.114	1.39
6	25	3	5	0.4	0.120	0.7869	0.9506	0.86
7	25	32	9	0.720	1.28	1.153	1.393	2.76
8	25	220	15	1.2	8.80	1.359	1.642	4.58
9	38	13	8	0.421	0.342	0.8734	1.209	1.79
10	38	220	15	0.789	5.789	1.408	1.950	7.76
11	100	3	5	0.1	0.030	0.5512	1.046	1.15
12	100	220	15	0.3	2.200	1.271	2.413	14.92

### 3. Curva locale di resistenza a fatica

Per la determinazione della curva di resistenza a fatica locale dei giunti saldati in acciaio, valida pertanto indipendentemente dalla geometria del giunto saldato e dalle sue dimensioni assolute, si farà riferimento a dodici serie di risultati sperimentali ottenuti da S. J. Maddox [3] e T. R. Gurney [4]. Tali risultati sono stati ottenuti con cicli di carico assiale ad ampiezza costante, applicati con rapporto di sollecitazione  $R=0$ , in assenza di trattamento di distensione delle tensioni residue ed includendo anche eventuali componenti di flessione secondaria dovute ad alterazioni geometriche causate dalla saldatura, che nella ref. [3, 4] non sono state documentate e pertanto non possono essere scorporate dallo stato tensionale complessivo.

I risultati sperimentali di vita a fatica relativi alle dodici serie di prove considerate sono riportati in fig. 3 nel loro formato originale, cioè in funzione del range di tensione nominale  $\Delta\sigma_g = \sigma_{gmax} - \sigma_{gmin}$ . È evidente la grande differenza di comportamento manifestata da giunti che pure sono della stessa tipologia, a causa delle dimensioni assolute e della variabilità dei rapporti tra lo spessore degli irrigidimenti e quello della lamiera principale.

Moltiplicando i range di sollecitazione nominale  $\Delta\sigma_g$  di ciascuna prove per il rapporto  $K_w / \sigma_g$  calcolato per ciascuna serie di prove e riportato in tabella 1, i risultati di vita a fatica possono essere riportati in funzione del fattore di intensificazione delle sollecitazioni dei giunti saldati, come mostrato in fig. 4, con

un notevole effetto di compattamento.

La applicazione della banda di dispersione unificata per i giunti saldati in acciaio, riportata in fig. 5 e definita come tipica per una singola serie di prove sperimentali da precedenti rianalisi di diverse migliaia di risultati sperimentali ottenuti su giunti saldati di diverse geometrie [1], mostra come tale banda di dispersione unificata interpreti molto bene i risultati attuali in termini di parametro di campo locale  $\Delta K_w$ , confermandone la appartenenza ad un'unica popolazione, indipendentemente dalla particolare geometria del giunto considerato (fig. 6).

Poichè ci si riferisce alle tensioni sulla superficie della lamiera, il diagramma di fig. 6 può essere tradotto nel diagramma di fig. 7, in termini di deformazione locale, che dovrebbe risultare di più immediato utilizzo nel caso di rilevazione sperimentale del campo locale mediante estensimetri. Tale trasformazione è stata effettuata nell'ipotesi di stato piano di deformazione, introducendo un valore fittizio  $E'$  del modulo di elasticità dato dalla relazione

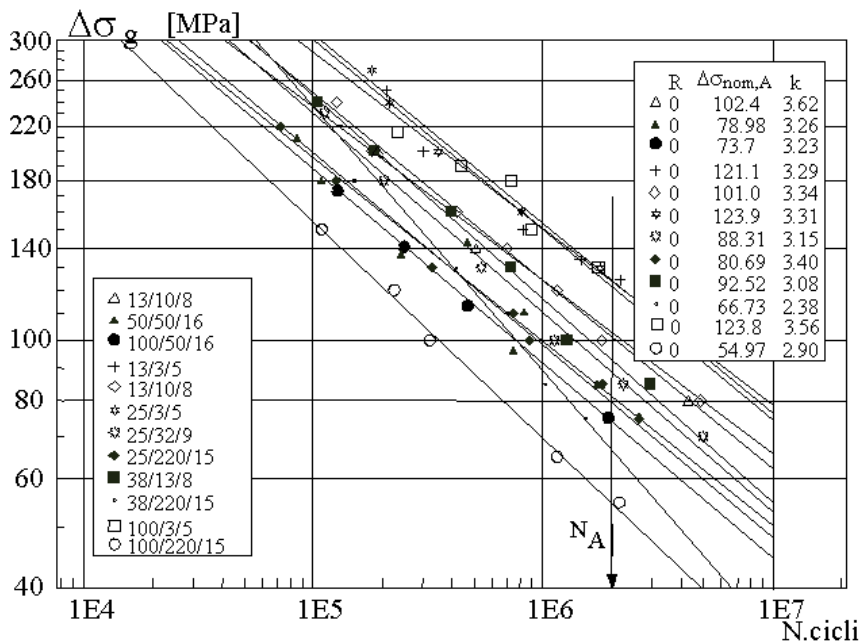


fig. 3: risultati sperimentali tratti da Maddox [3] e Gurney [4] in termini di range di variazione della tensione nominale.

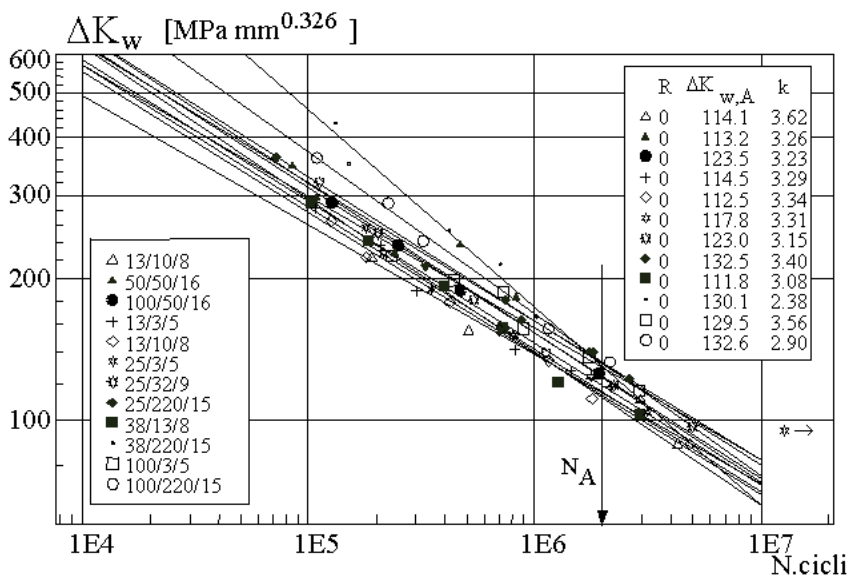


fig. 4: risultati sperimentali riportati in termini di range di variazione del fattore di intensificazione delle tensioni.

$E'=E/(1-\nu^2)$ , essendo il modulo elastico effettivo pari a  $E=206000$  MPa.

Per analoghe ragioni di immediatezza di impiego e di confronto con valutazioni numeriche o sperimentali effettuate sulla superficie della lamiera i diagrammi precedentemente determinati vengono anche presentati in funzione dello stato di tensione locale (fig. 8) o dello stato di deformazione locale (fig. 9) rilevato ad una distanza dal piede del cordone di saldatura pari a 1, 2 o 3 mm. Mentre tali dati possono essere utilizzati direttamente per la stima della resistenza a fatica di giunzioni saldate in acciaio a partire da valori superficiali di  $\sigma$  o di  $\epsilon$  determinati con gli elementi finiti nelle immediate vicinanze del piede del cordone di saldatura, opportune precauzioni dovranno essere prese nel caso di distanze maggiori di rilevazione sperimentale delle  $\epsilon$  mediante estensimetri, come verrà esposto in seguito.

Per concludere si vuole evidenziare come il limite  $x_g$  del campo di applicabilità del criterio locale sia in diretta correlazione con il livello di intensificazione delle tensioni  $\Delta K_w / \sigma_g$  secondo la relazione:

$$x_g^{0.326} = \frac{K_w}{\sigma_g}$$

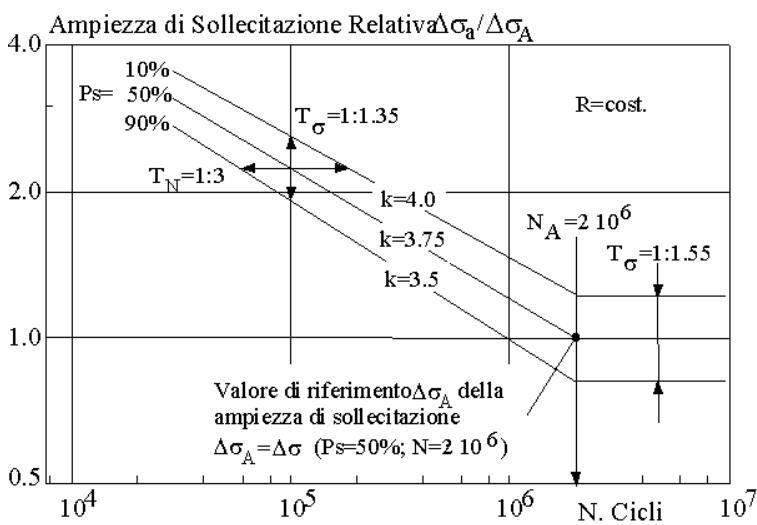


fig. 5: banda di dispersione unificata relativa agli acciai da carpenteria.

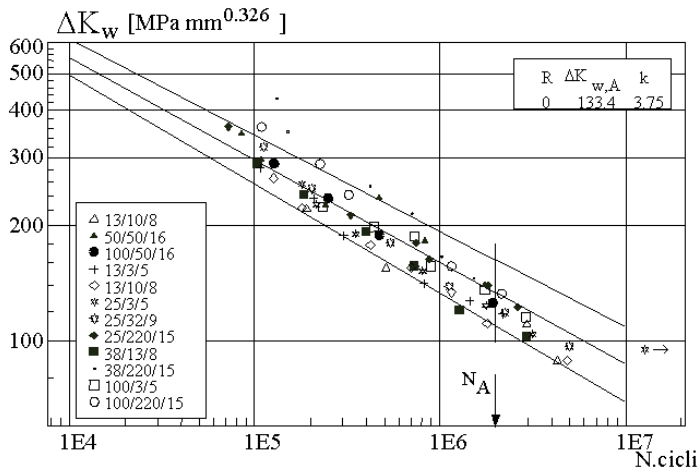


fig. 6: applicazione della banda di dispersione unificata ai risultati sperimentali in termini di range del fattore di intensificazione delle tensioni.

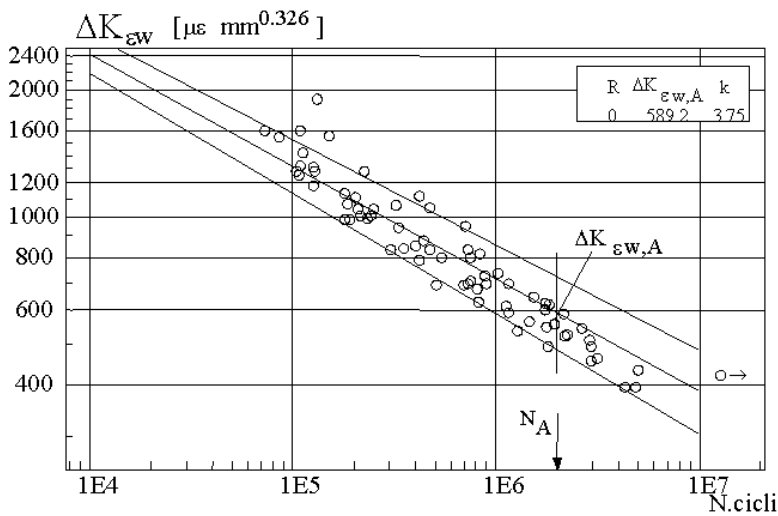


fig. 7: applicazione della banda di dispersione unificata ai risultati sperimentali in termini di range del fattore di intensificazione delle deformazioni.

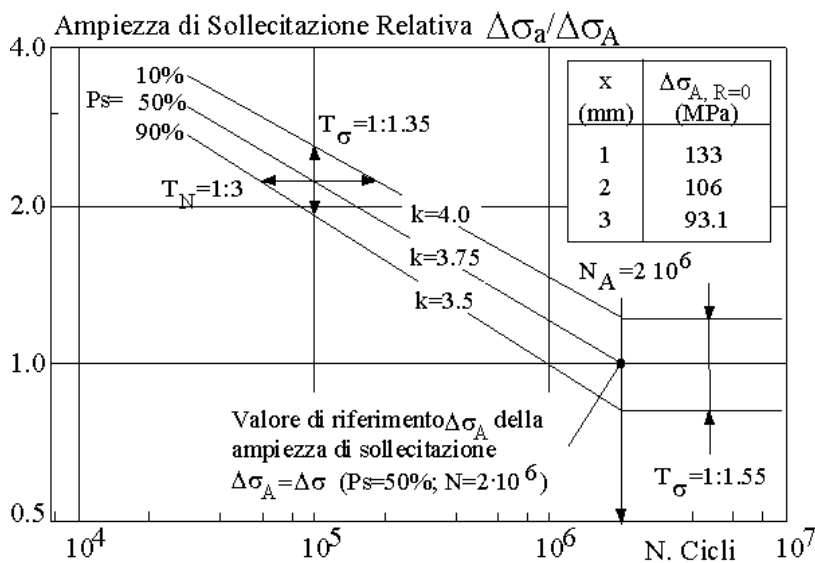


fig. 8: banda di dispersione unificata e valori  $\Delta\sigma_A$  di riferimento in funzione della distanza di rilevazione della sollecitazione dal piede del cordone di saldatura

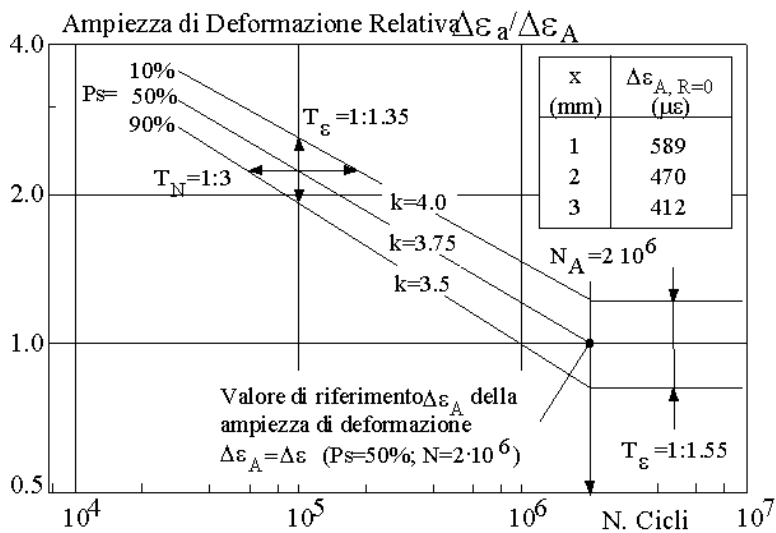


fig. 9: banda di dispersione unificata e valori  $\Delta\epsilon_A$  di riferimento in funzione della distanza di rilevazione della deformazione dal piede del cordone di saldatura ( $E'=226370$  MPa)

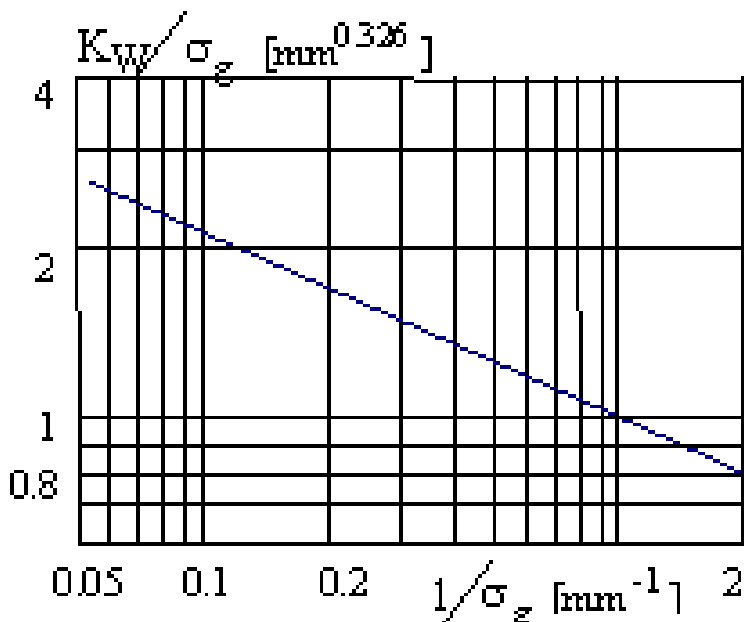


fig. 10: limite di applicabilità di  $x_g$  dell'approccio locale al variare del livello di intensificazione delle tensioni caratteristico del giunto.

che si ricava facilmente dalle espressioni precedentemente ricordate imponendo l'uguaglianza tra la  $\sigma_x$  e la  $\sigma_g$ . Ne risulta l'andamento riportato in fig. 10. La relazione tra l'estensione del campo e lo spessore della lamiera principale  $T$  risulta invece essere:

$$x_g = (0.423 \cdot k_1)^{307} \cdot T$$

Non è possibile pertanto fissare la distanza di presenza (o assenza) degli effetti locali in funzione del solo spessore  $T$  della lamiera principale, in quanto tale estensione risulta essere funzione anche del coefficiente di forma  $k_1$ . A titolo di esempio, per le geometrie esaminate in questo lavoro, poichè il coefficiente  $k_1$  varia tra 0.5512 e 1.408 (tab. 1) la distanza  $x_g$  varia all'incirca tra 1/5 ed 1/100 dello spessore  $T$ . Solo per



valori di  $k_1$  circa pari a 1.1 il valore di  $x_g$  risulta pari ad 1/10 di T.

#### 4. Corrispondenza tra valori locali numerici e sperimentali

I risultati sino ad oggi disponibili per la applicazione di un criterio locale per la valutazione della vita a fatica delle strutture saldate in acciaio sono basati esclusivamente sulla valutazione della deformazione effettuata mediante estensimetri. Anche in futuro, per molte applicazioni, potrebbe risultare più conveniente procedere ad una rilevazione sperimentale mediante estensimetri che ad una valutazione numerica. Per rendere possibile una corretta estensione a tale utilizzo delle curve di fatica ricavate in questo lavoro è necessario tener conto sia delle differenze dovute alle caratteristiche del sistema di rilevazione sperimentale utilizzato, sia delle differenze tra il modello semplificato assunto per l'analisi numerica e la realtà del giunto saldato, rilevata invece nella sua complessità da una misura estensimetrica. La correlazione non è pertanto semplice e non può essere basata sul limitato numero di risultati sperimentali considerato in questo lavoro, limitato inoltre ad una sola tipologia di giunto. Rimandando pertanto ad un prossimo sviluppo la proposta di opportuni criteri di correlazione, ci si limita in questa sede alla discussione dei principali parametri che dovranno essere considerati nella loro determinazione.

Per quanto riguarda la influenza delle caratteristiche del sistema di rilevazione utilizzato, nel caso si tratti di estensimetri è necessario considerare innanzitutto che essi non potranno arrivare a distanze molto ridotte di rilevazione dal piede del cordone di saldatura ed in secondo luogo che essi integrano il campo delle  $\epsilon$  sulla lunghezza della griglia. Il valore da essi rilevato però, trattandosi di un campo variabile con legge esponenziale, non corrisponderà al valore realmente presente in corrispondenza della mezzeria della griglia. Considerando un estensimetro con lunghezza di griglia  $l$  che vada da una distanza  $x_1$  ad una distanza  $x_2$  (pari a  $x_1+l$ ) ed assumendo un generico andamento esponenziale delle  $\epsilon=\epsilon(x)=ax-\alpha$  (nel caso esaminato  $\alpha=0.326$ ), il valore  $\epsilon_{SG}$  da esso rilevato varrebbe:

$$\epsilon_{SG} = \frac{1}{l} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \epsilon(x) \cdot dx = \frac{1}{l} \cdot \int_{x_1}^{x_2} a \cdot x^{-\alpha} \cdot dx = \frac{a}{l} \cdot \frac{1}{1-\alpha} \cdot (x_2^{1-\alpha} - x_1^{1-\alpha})$$

Esso pertanto equivarrebbe al reale valore della  $\epsilon$  presente alla distanza  $x_{SG}$  tale che  $\epsilon_{SG}=ax_{SG}-\alpha$ . Ne segue pertanto:

$$x_{SG} = \left( \frac{1 - \epsilon}{x_2^{1-\alpha} - x_1^{1-\alpha}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot l^{\frac{1}{\alpha}}$$

Per quanto riguarda le differenze tra il modello semplificato utilizzato per l'analisi numerica e la realtà del giunto saldato, è necessario considerare che:

- potranno aversi degli scostamenti dovuti al fatto che la geometria della saldatura sarà in generale diversa da quella idealizzata assunta in questa analisi (cordone piano inclinato di 45° e raggio di fondo intaglio nullo);
- a causa della irregolarità del cordone e del raggio di fondo intaglio la rilevazione sperimentale dovrà essere effettuata su basi statistiche;
- l'analisi è stata fatta in campo lineare elastico. Le inevitabili plasticizzazioni nella zona del piede del cordone di saldatura comportano modifiche dello stato tensionale tanto maggiori quanto maggiore è la zona interessata (e quindi quanto maggiore è la sollecitazione applicata);

d. il campo di tensione semplificato assunto è corretto solo nelle immediate vicinanze del piede del cordone di saldatura; per distanze maggiori, anche se minori di  $x_g$ , il valore rilevato risulta essere maggiore di quello ottenuto estrapolando l'andamento asintotico. Ne consegue pertanto che una prefissata vita a fatica corrisponde a valori rilevati con estensimetri maggiori di quelli individuati in questo lavoro. Quanto detto vale anche nel caso di valutazioni numeriche mediante elementi finiti;

e. i risultati sperimentali utilizzati in questo lavoro per la determinazione della curva unica di resistenza a fatica includevano inevitabilmente delle imprecisioni di fabbricazione dei giunti saldati con conseguente comparsa di una componente di flessione secondaria non quantificabile in base ai dati disponibili. Tale componente sarebbe invece stata rilevata nel caso di utilizzo di estensimetri ed avrebbe portato, a parità di tensione nominale, a valori più elevati di quelli calcolati. Ne consegue pertanto che anche per questo fatto una prefissata vita a fatica dovrebbe corrispondere a valori rilevati con estensimetri maggiori di quelli individuati in questo lavoro;

f. i risultati sperimentali utilizzati in questo lavoro per la determinazione della curva unica di resistenza a fatica erano relativi a giunti saldati in presenza di tensioni residue (non erano stati infatti sottoposti ad alcun trattamento di distensione). Il comportamento manifestato da giunti analoghi nella realtà applicativa potrebbe risultare diverso, pur a parità di rapporto di sollecitazione  $R$ , nel caso di diversa entità delle tensioni residue presenti. I dati ricavati possono ritenersi validi per provini come saldati (tensioni residue di media entità). A pari livello di sollecitazione dovrebbero invece corrispondere vite maggiori nel caso di tensioni residue più basse (con trattamento di distensione) e vite minori nel caso di tensioni residue più elevate (strutture saldate reali).

## 5. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata giustificata teoricamente la esistenza di una unica curva di resistenza a fatica capace di interpretare in termini di deformazione o di tensione locale il comportamento dei giunti saldati d'angolo in acciaio ed è stata ricavata la distanza teorica entro cui la valutazione dello stato di deformazione locale deve essere effettuata.

Con riferimento a risultati sperimentali di prove a fatica già pubblicati è stata quindi ricavata una banda unica di resistenza a fatica in funzione del parametro di campo  $\Delta K_w$  (fattore di intensificazione delle tensioni per i giunti saldati) pari al prodotto tra il  $\Delta\sigma_x$  locale alla distanza  $x$  e la distanza stessa elevata all'esponente 0.326. Per consentirne un utilizzo più agevole la curva così determinata è stata anche tradotta in termini di tensioni  $\Delta\sigma_x$  o deformazioni  $\Delta\epsilon_x$  presenti ad una distanza generica (variabile da 1 a 3 mm) dal piede del cordone di saldatura. La curva di resistenza a fatica ricavata in questo lavoro è valida nel caso di valutazioni dello stato tensionale effettuate nelle immediate vicinanze del piede del cordone di saldatura, o estrapolando l'andamento esponenziale del campo di tensione sino alla distanza  $x_g$ . La sua applicazione in condizioni diverse (rilevazioni estensimetriche o valutazioni numeriche mediante analisi agli elementi finiti con suddivisioni in elementi non sufficientemente raffinate) porta a previsioni non corrette ma comunque in vantaggio di sicurezza.

## Bibliografia

[1] E. Haibach, *Die Schwingfestigkeit von Schweissverbindungen aus der Sicht einer örtlichen Beanspruchungsmessung*, Laboratorium für Betriebsfestigkeit, Darmstadt, Bericht N° FB-77, 1968.

[2] B. Atzori, E. Haibach, atti del VII Convegno AIAS, Cagliari, 1979.

[3] S. J. Maddox, *The effect of plate thickness on the fatigue strength of fillet welded joints*, The Welding Institute, Abington, Cambridge, UK, 1987.

[4] Gurney T. R., *The fatigue strength of transverse fillet welded joints- A study of the influence of joint geometry*, Abington Publishing, Abington, Cambridge, UK, 1991.

[5] B. Atzori, V. Dattoma, G. Demelio, atti del XXI Convegno AIAS, pp. 85-92, 1992.

[6] V. Dattoma, G. Demelio, C. Pappalettere, atti del XXII Convegno AIAS, pp. 309-316, 1993.

[7] B. Atzori, G. Meneghetti, *Resistenza a fatica di giunti saldati d'angolo in lega leggera sollecitati a trazione*, XXIX° Congresso AIAS, Perugia, 1998 (in attesa di presentazione).

[8] P. Lazzarin, R. Tovo, *A notch stress intensity factor approach to the stress analysis of welds*, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., accepted for the publication.

## Atti del convegno

[ [Precedente](#) ] [ [Successiva](#) ]

Versione HTML realizzata da

