

**EFFETTO SPESSORE SULLA VITA A FATICA DEI GIUNTI SALDATI PER
PIATTAFORME OFFSHORE**

I. Cole, F. Ricci, O. Vittori

SOMMARIO

In questo lavoro vengono presentati i risultati ottenuti dai test effettuati su giunti saldati (plate to plate), di spessore pari a 50 mm, sia in aria che in acqua di mare sotto protezione catodica. Questi risultati sono stati confrontati con quelli ricavati dai test su campioni di minor spessore (32 mm), per valutare l'effetto, dovuto al cambiamento nel profilo della saldatura e al diverso spessore della piastra di base, sulla vita a fatica dei provini. Tale analisi è stata sviluppata anche dal punto di vista teorico utilizzando un modello matematico a doppio stadio (innesco - propagazione). Si è potuto così effettuare un confronto tra l'effetto spessore valutato sperimentalmente e quello ottenuto con la formulazione di Gurney.

INTRODUZIONE

Recentemente è stato effettuato un certo numero di studi comparativi sul comportamento dell'acciaio tradizionale normalizzato, usato nell'applicazione offshore, e sui nuovi acciai TMCP (Thermal Mechanical Controlled Process) {1}. È stato dimostrato che con i nuovi acciai è possibile ottenere un miglioramento nella saldabilità unito ad un comportamento a fatica paragonabile a quello relativo ai materiali tradizionali. Tuttavia la domanda da parte dell'industria di piastre di spessore sempre più grande va aumentando al punto tale che è stato avviato un programma di ricerca italiano al fine di studiare il comportamento di tali piastre.

In questa sede vengono presentati alcuni risultati di questo programma che si riferiscono al comportamento a fatica dei giunti saldati (plate to plate) realizzati con acciaio TMCP. Le prove sono state portate a termine sia in aria che in acqua di mare sotto protezione catodica (P.C.).

Uno dei principali obiettivi di questo studio è stato quello di valutare l'intensità del cosiddetto effetto spessore per i nuovi acciai.

Nel 1979 Gurney {2}, basandosi sull'analisi della meccanica della frattura e sull'evidenza sperimentale, mostrò che l'effetto dello spessore della piastra assumeva una importanza notevole al punto tale che egli propose {3}, nel 1981, una relazione empirica per la resistenza a fatica che tenesse conto di questo effetto:

è possibile distinguere le due componenti dell'effetto spessore, quella teorica permette la valutazione della componente geometrica dell'effetto spessore. Pertanto un confronto tra le due elaborazioni, teorica e sperimentale, fornisce una stima della componente dell'effetto spessore derivante dal processo di lavorazione della piastra.

DESCRIZIONE E ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE DI FATICA

Prove di fatica su provette T-butt

Sono state eseguite prove di fatica, sia in aria sia in acqua di mare con protezione catodica, su provette a "T" la cui geometria e le cui dimensioni sono riportate in fig. 1 {4}. Il materiale utilizzato per queste prove è stato l'acciaio TMCP da raffreddamento accelerato di grado BS 355 per il quale vengono riportate nelle tabb. 1 e 2 la composizione chimica e le caratteristiche meccaniche. Questi nuovi acciai TMCP, grazie alla loro buona saldabilità e resistenza meccanica ($R_S > 410$ MPa), risultano essere i naturali candidati a sostituire il tradizionale acciaio normalizzato Fe 510 EU25 nelle costruzioni di piattaforme offshore.

La saldatura dei giunti è stata realizzata con tecnica arco manuale multipass, usando elettrodi rivestiti ($\phi = 3.25$ mm) a basso contenuto di idrogeno. L'apporto termico utilizzato per la realizzazione dei giunti è stato < 1.8 KJ/mm.

Sono state effettuate due serie di prove: la prima in aria e la seconda in acqua di mare alla temperatura di 10°C e sotto protezione catodica.

Per quanto riguarda la protezione catodica il livello di potenziale è stato pari a -850 mV e la corrente assorbita compresa tra $75 \div 100$ mA.

Per ambedue le serie di prove (aria e ambiente) sono stati esplorati quattro livelli nominali di sollecitazione: 108, 135, 189 e 252 MPa.

Il carico applicato è stato di tipo sinusoidale con ampiezza costante con un valore di R pari a 0.1.

La frequenza di lavoro è stata pari a 1 Hz per le prove in aria e pari a 0.35 Hz per le prove in acqua di mare.

I giunti, per le prove in acqua di mare, sono stati strumentati con estensimetri elettrici e il valore N_1 (numero di cicli di inizio cricca) è stato ottenuto basandosi sulla variazione di deformazione sentita dall'estensimetro per la presenza della cricca, mentre per le prove in aria N_1 è stato rilevato otticamente. Il valore N_3 (numero di cicli di fine prova) è stato definito come il numero di cicli necessari a che la profondità della cricca raggiungesse la metà spessore del provino.

Nelle figg. 2 e 3 sono state riportate le curve di regressione, relative ai campioni di spessore 32 e 50 mm, e i punti rappresentativi dei dati sperimentali rispettivamente per le prove in aria e per quelle in acqua di mare con P.C..

I coefficienti delle curve di regressione sono presentati

$$\sigma_r = \sigma_{r,0} (t_0/t)^n \quad \text{con } n = 0.25$$

dove $\sigma_{r,0}$ si riferisce alla resistenza a fatica relativa ad una piastra avente uno spessore di riferimento pari a t_0 .
Assumendo per la curva S-N una relazione del tipo:

$$N (\sigma_r)^{m'} = \text{cost} \quad \text{con } m' = -3$$

si ottiene per la vita a fatica la corrispondente relazione:

$$N = N_0 (t_0/t)^{3n}$$

dove N_0 rappresenta la vita a fatica di una piastra avente uno spessore di riferimento pari a t_0 .

La corretta valutazione sperimentale dell'effetto spessore, alla definizione del quale concorrono molteplici fattori (processo metallurgico, dimensioni piastra, tensioni residue ecc.), viene ostacolata principalmente da due aspetti. Prima di tutto vi è una dispersione notevole nei valori sperimentali della vita a fatica che si traduce in una incertezza nelle curve di regressione. In secondo luogo, la vita dei giunti dipende in maniera critica dal profilo locale della saldatura ed in particolar modo dall'angolo al piede di saldatura (α) e dal raggio di curvatura normalizzato al piede di saldatura (ρ/t). All'aumentare dello spessore del provino si può prevedere un cambiamento significativo nei valori dei suddetti parametri. Inoltre le relazioni tra (α) e (ρ) per spessori differenti dipenderanno dal procedimento di saldatura ed è probabile che siano diverse a seconda dei laboratori nei quali viene effettuata la saldatura stessa.

In questo lavoro viene presentata un'analisi dell'effetto spessore sia dal punto di vista sperimentale che da quello teorico. Il fattore sperimentale è stato ottenuto effettuando un confronto della vita a fatica tra i provini di diverso spessore (32 e 50 mm) per entrambe le condizioni di prova (aria e acqua di mare con P.C.). Il fattore teorico è stato invece analizzato mediante un modello di previsione della vita a fatica, basato sulla meccanica della frattura, facendo riferimento ai provini e alle condizioni di prova di cui sopra.

L'effetto spessore, valutato sperimentalmente, può includere un certo numero di componenti. I più importanti sono quelli che si riferiscono alla geometria della saldatura ed al processo di lavorazione della piastra. L'effetto geometrico dello spessore si presenta come diretta conseguenza dell'effetto, dovuto al cambiamento nella geometria con l'aumentare dello spessore, sul fattore di intensificazione delle tensioni al piede di saldatura e sul successivo sviluppo della cricca. L'effetto derivante dal processo di lavorazione si presenta poiché, durante la fase di realizzazione della piastra, variano leggermente le condizioni all'aumentare dello spessore causando in tal modo delle piccole differenze nelle proprietà della piastra, per es. nel grado di segregazione. A differenza dell'elaborazione sperimentale, nella quale non

nella tab. 4. Detti coefficienti sono stati calcolati mediante la formula:

$$\log N = C - m \log \Delta \sigma \quad \text{dove} \quad \Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

Misurazione dei parametri geometrici della saldatura

Le misure dei profili della saldatura sono state effettuate utilizzando un profilometro con fattori di ingrandimento 10 e 20.

Generalmente per ogni provino sono stati esaminati 6 profili, costituiti da repliche di cera riproducenti il cordone della saldatura, che sono stati presi in corrispondenza delle due sezioni estreme e di quella centrale di ciascun lato del provino. Per alcuni di questi si sono considerati più profili, in numero di 7 o 8, quando la zona di innesco della cricca non era localizzata esattamente nelle sezioni definite sopra.

Le variabili che caratterizzano la saldatura e che hanno maggiore influenza sulla vita a fatica, sono il raggio di curvatura al piede della saldatura (ρ), l'angolo locale (α) e l'angolo medio globale del profilo (θ) vedi fig. 4.

Nella tab. 3 sono stati riportati i valori medi dei suddetti parametri per i provini di diverso spessore (32 e 50 mm).

MODELLO PER LA PREVISIONE DELLA VITA A FATICA DEI GIUNTI SALDATI ED EFFETTO DEL PROFILO

Prima di valutare l'effetto dello spessore, si è dovuto stabilire l'effetto dei diversi profili della saldatura caratterizzanti i differenti gruppi di provini impiegati nelle prove. Allo scopo è stato utilizzato un modello {5} che fornisce una stima della vita a fatica di un giunto saldato di data geometria, sfruttando le indicazioni della BS PD 6493 {6} per quanto riguarda la parte relativa alla Meccanica della Frattura a fatica. Il modello è composto da due parti: la prima relativa alla fase d'innesco (di una cricca avente una profondità non superiore a 0.5 mm) e la seconda relativa alla sua propagazione.

La parte relativa all'innesco si basa sul metodo della tensione-deformazione locale, essendo non trascurabile l'effetto dovuto alla plasticizzazione del materiale.

La parte relativa alla propagazione si fonda invece sull'ipotesi della Meccanica della Frattura Lineare Elastica (MFLE).

Il modello per la fase di innesco dipende fortemente dai parametri geometrici della saldatura normalizzati (ossia α/T e ρ/T) mentre quello relativo alla fase di propagazione dipende oltre che dai suddetti parametri anche da altri fattori. Infatti nei giunti saldati, essendovi non uno ma più punti di innesco, i fenomeni di interazione e coalescenza delle cricche controllano la vita a fatica del giunto durante la fase di propagazione. Per maggiori dettagli sull'argomento

si faccia riferimento al testo riportato in bibliografia {7}.

Al fine di valutare la rispondenza tra i risultati teorici e quelli sperimentali, si sono confrontate le rispettive rette di regressione calcolate per i due diversi ambienti. Osservando il grafico relativo alla variabile N_3 , riportato in fig. 5, si desume come il modello sia risultato sufficientemente vicino alla realtà mostrandosi più affidabile in aria che in acqua di mare con P.C.. In questo ultimo caso però l'esiguità del numero di prove effettuate non consente, al momento, un adeguato e significativo confronto diretto tra il modello matematico e le prove sperimentali stesse.

EFFETTO SPESSORE

Valutazione sperimentale dell'effetto spessore

Generalmente l'effetto spessore viene analizzato mediante il parametro n presente nella formula di Gurney ma nel nostro caso, avendo a disposizione dei dati relativi a due soli spessori, è stato introdotto un fattore S quale rapporto tra la vita a fatica N_3 per i due spessori in esame. Pertanto per S , denominato effetto provino, si ottiene la seguente espressione:

$$S = N_{32}/N_{50}$$

Questo fattore può essere ottenuto sperimentalmente in due diversi modi: mediante un confronto dei valori predetti dall'analisi di regressione lineare o confrontando i valori medi sperimentali ad un dato livello di carico.

La lieve differenza nella geometria della saldatura, che esiste tra i due set di provini, influenza i dati riguardanti la vita indipendentemente dall'effetto spessore per cui il fattore S racchiude sia l'effetto profilo sia l'effetto spessore. La valutazione dell'effetto profilo (fattore P), che tiene conto della differenza della vita a fatica per i due spessori in esame in funzione dei differenti profili di saldatura, è stata ottenuta impiegando il citato modello matematico. Questo fattore viene definito come il rapporto tra la vita teorica dei provini di spessore pari a 50 mm, ma con un profilo della saldatura che appartiene a quelli di minor spessore (32 mm), e quella relativa ai provini spessi 50 mm ma caratterizzati dai rispettivi profili. In tal modo si ottiene per P la seguente espressione:

$$P = \frac{N_{T=50\text{mm}} \text{ (geom. locale per 32 mm)}}{N_{T=50\text{mm}} \text{ (geom. locale per 50 mm)}}$$

I risultati teorici vengono presentati nella tab. 5 in termini di P_1 relativo alla fase di innesco e di P relativo alla vita totale.

Quindi indicando con T il parametro che tiene conto dell'effetto spessore definito come:

$$T = \frac{N_{T=32\text{mm}} \text{ (geom. locale per 32 mm)}}{N_{T=50\text{mm}} \text{ (geom. locale per 32 mm)}}$$

e con P il parametro per l'effetto profilo si possono definire le seguenti relazioni:

$$S = P \cdot T \text{ (vita a fatica)} \quad S_i = P_i \cdot T_i \text{ (inizio cricca)}$$

dividendo S per P si ottiene una valutazione sperimentale/teorica dell'effetto spessore; i risultati vengono riportati in tab. 6 nella quale sono anche indicati i valori del fattore T_i relativo alla fase d'inesco. I numeri tra parentesi rappresentano i valori del fattore S dai quali si sono poi ottenuti quelli del fattore T.

In base alla formulazione di Gurney il fattore T dovrebbe assumere un valore pari a 1.4 per tutti i livelli di tensione e le condizioni di prova (aria o acqua di mare), analizzando però la tab. 6 si vede come il parametro T per le prove in aria assuma un valore maggiore di 1.4 mentre per le prove in acqua di mare sembra essere minore ai livelli di carico più elevati. Tuttavia in quest'ultimo caso, i valori trovati necessitano di ulteriore conferma essendo stata effettuata solamente una prova, anziché due, per ogni livello di tensione.

Invece, sia per le prove in aria che in acqua di mare, il valore dell'effetto spessore per l'inesco (T_i) è sempre risultato maggiore del corrispondente valore di T relativo alla vita totale, soprattutto per le prove in aria, per le quali, visto l'elevato numero di dati, si può considerare questa tendenza sufficientemente confermata.

Tuttavia è comunque evidente, pur tenendo presente le limitazioni relative al basso numero di prove in acqua di mare, la presenza di una medesima tendenza, cioè che il fattore T dipende fortemente dall'ampiezza della sollecitazione e aumenta al diminuire di quest'ultima.

Valutazione teorica dell'effetto spessore

Il modello descritto precedentemente permette di calcolare il fattore teorico (T_{th}) per tutti i livelli di carico e le condizioni di prova. Il parametro T_{th} dipende solamente dalla geometria e dagli effetti della concentrazione di tensione.

Inoltre il modello analitico consente di suddividere l'effetto spessore nelle sue varie componenti.

Infatti esso permette di conoscere l'effetto spessore sull'inesco (T_{thi}) e sulla propagazione (T_{thp}).

Nella tab. 7 sono riportati i valori dei diversi fattori di cui sopra nel caso delle prove in aria e in acqua di mare con P.C.. Analogamente a quanto visto per i valori sperimentali, anche l'effetto spessore teorico dipende dall'ampiezza della sollecitazione.

Per quanto riguarda l'effetto spessore relativo alla vita totale, i valori teorici sono dello stesso ordine di grandezza di quelli sperimentali considerando per quest'ultimi sia quelli "come saldati" sia quelli che tengono conto della correzione introdotta. Invece relativamente alla fase di innesco, è possibile effettuare solo un confronto tra i valori teorici e quelli sperimentali corretti riscontrando una uniformità dei risultati. I valori teorici riportati in tab. 7 mostrano la stessa tendenza osservata nei corrispondenti valori sperimentali, ovvero i valori aumentano al diminuire del livello di carico.

Anche l'analisi teorica dell'effetto spessore ha fornito per il parametro T_{th} un valore superiore a 1.4 che è quello ottenibile dalla formulazione di Gurney.

DISCUSSIONE

Sia sperimentalmente che teoricamente si è riscontrato un effetto spessore più grande di quanto ricavabile mediante la formulazione di Gurney. Infatti utilizzando tale formulazione, ed introducendo in essa i dati presentati in questa memoria, si ottiene $n = 0.39$ e $n = 0.38$ rispettivamente per le prove in aria e per quelle in acqua di mare. Questa tendenza di comportamento è riscontrabile anche nei risultati ottenuti da studi effettuati presso altri laboratori europei per cui è evidente che il valore originale del fattore n , presente nella formulazione di Gurney ($n = 0.25$), fornisce una valutazione troppo bassa dell'effetto spessore. A tal proposito è stato proposto che nella norma riveduta D.En. (Department of Energy U.K.) tale fattore possa essere aumentato fino al valore di 0.3 {8}.

Inoltre, ricordando che nella valutazione sperimentale dell'effetto spessore i parametri principali in gioco si riferiscono al cambiamento della geometria ed al processo di lavorazione della piastra mentre in quella teorica solamente al cambiamento nella geometria del provino, si è provveduto ad effettuare un confronto tra l'effetto spessore sperimentale e quello teorico. L'omogeneità tra i due gruppi di valori, evidenziata da tale confronto, consente di ipotizzare che il processo di laminazione non influenzi l'effetto spessore ma che tale effetto sia regolato essenzialmente dalla variazione dei parametri geometrici.

CONCLUSIONI

Considerando che i giunti piani utilizzati nei test di fatica presentano, al variare dello spessore, sostanzialmente la stessa geometria locale della saldatura è possibile trarre dal presente lavoro le seguenti conclusioni:

- 1) Dall'analisi dei dati sperimentali si è visto come l'effetto spessore risulti essere più elevato di quello ottenibile dalla formulazione di Gurney. Infatti i giunti

di spessore pari a 50 mm hanno fatto registrare una diminuzione nella vita a fatica dell'ordine del 40% rispetto a quella dei provini di minor spessore (32 mm).

2) La valutazione teorica dell'effetto spessore, ottenibile dal modello matematico, ha fornito dei valori che risultano essere abbastanza vicini a quelli ottenuti dall'analisi sperimentale.

3) Globalmente l'effetto spessore, valutato in questo lavoro, sembrerebbe derivare dagli effetti geometrico/meccanici piuttosto che dalle caratteristiche del materiale.

La realizzazione del presente lavoro è stata possibile con il contributo fornito dalla Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio.

BIBLIOGRAFIA

- 1) I. Cole e al. "Welded Joints in Offshore Structure: The Significance of Data Derived from Small and Full Scale Tests", OMAE 1990, Houston, 1990.
- 2) T.R. Gurney, "The influence of thickness on the fatigue strength of welded joints", Proc. 2nd International Conference on the Behaviour of Offshore Structures, Bedford, England 1979.
- 3) T.R. Gurney, "Some comments on fatigue design rules for offshore structures", Proc. 2nd International Symposium on Integrity of Offshore Structures, Essex, England 1981.
- 4) I. Cole, O. Vittori, "Analisi del comportamento a fatica di materiale HSLA da raffreddamento accelerato per impieghi offshore in prove di laboratorio e in piena scala", Convenzione CECA n°7210-KD/414(F5.4/89) Rapporto Tecnico n.1, aprile 1990.
- 5) F. Fabrizi, "Tesi di laurea: Modello per la stima della vita a fatica di giunti saldati per piattaforme offshore", Università di Roma "La Sapienza", maggio 1990.
- 6) BS PD6493 (Revised), "Draft published document for guidance on methods for the derivation of acceptance levels for flaws in welded joints", BSI Standards, London 1990.
- 7) I. Cole, F. Fabrizi, M. Gionfriddo, C. Pietrosanti, "Modello per la previsione della vita a fatica dei giunti saldati", IGF6, Ancona 1990.
- 8) A.G. Reynolds, J.V. Shorp, "The fatigue performance of tubular joints - an overview of recent work to revise Department of Energy Guidance: Integrity of Offshore Structures - 4 - Elsevier, 1990.

| C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Cu | V | Nb | Al | N | Ti | C _{eq} |
|------|------|------|------|-------|-----|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----------------|
| .050 | 1.60 | .228 | .016 | .0025 | .01 | .36 | .017 | .006 | .024 | .02 | .010 | .02 | .34 |

Tab. 1 - Composizione chimica dell'acciaio TMCP da raffreddamento accelerato (RA)

| Y.S. (MPa) | U.T.S. (MPa) | E% | K _{VT} (-20') (J) | K _{VT} (-40') (J) |
|---------------|-----------------|----|-------------------------------|-------------------------------|
| 450 | 537 | 25 | 273 | 265 |

Tab. 2 - Proprietà meccaniche dell'acciaio TMCP da raffreddamento accelerato (RA)

| Spessore provini | Ambiente | a | ρ | δ |
|---------------------|-------------|------|--------|----------|
| 50 | Aria | 41.7 | 1.2 | 41.7 |
| 50 | P.C. | 44.5 | 1.1 | 48.5 |
| 32 | Aria - P.C. | 37.0 | 1.32 | 46.2 |

Tab. 3 - Valori medi dei parametri geometrici delle saldature delle provette T-butt

| Retta di regressione | Parametri delle regressioni | | Coefficiente di regressione R | Ambiente |
|---------------------------|-----------------------------|-------|----------------------------------|----------|
| | m | C | | |
| $N_3 : F : 32 \text{ mm}$ | 3.15 | 12.89 | 0.980 | Aria |
| $N_3 : F : 50 \text{ mm}$ | 2.93 | 12.11 | 0.990 | Aria |
| $N_3 : F : 32 \text{ mm}$ | 4.42 | 15.53 | 0.949 | P.C. |
| $N_3 : F : 50 \text{ mm}$ | 2.38 | 10.58 | 0.999 | P.C. |

Tab. 4 - Valori dei coefficienti C e m per le rette di regressione sperimentali

| Ambiente | $\Delta\sigma$ | P | P_1 |
|----------|----------------|-----|-------|
| Aria | 252 | 1.1 | 1.6 |
| Aria | 189 | 1.1 | 1.6 |
| Aria | 135 | 1.1 | 1.8 |
| P.C. | 252 | 1.3 | 1.7 |
| P.C. | 189 | 1.3 | 1.7 |
| P.C. | 135 | 1.8 | 1.9 |

Tab. 5 - Determinazione del parametro P "effetto profilo"

| Ambiente | $\Delta\sigma$ | T | T_1 |
|----------|----------------|-----------|-----------|
| Aria | 252 | 1.5 (1.7) | 4.2 (6.8) |
| Aria | 189 | 1.7 (1.9) | 3.6 (5.7) |
| Aria | 135 | 1.9 (2.1) | 3.4 (6.1) |
| P.C. | 252 | 1.1 (1.4) | 1.4 (2.4) |
| P.C. | 189 | 1.1 (1.4) | 1.5 (2.6) |
| P.C. | 135 | 2.8 (5.3) | 4.1 (7.7) |

Tab. 6 - Determinazione sperimentale del parametro T "effetto spessore"

I numeri tra parentesi rappresentano i valori del parametro S "effetto provini"

| Ambiente | $\Delta\sigma$ | T_{thl} | T_{thp} | T_{th} |
|----------|----------------|-----------|-----------|----------|
| Aria | 252 | 1.6 | 1.9 | 1.8 |
| Aria | 189 | 1.7 | 2.1 | 2.0 |
| Aria | 135 | 1.9 | 3.6 | 2.9 |
| P.C. | 252 | 1.7 | 1.5 | 1.6 |
| P.C. | 189 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| P.C. | 135 | 1.9 | 3.1 | 2.2 |

Tab. 7 - Determinazione teorica del parametro T "effetto spessore"

L=650 mm

T= 50 mm

H= 90 mm

t= 25 mm

B= 162 mm

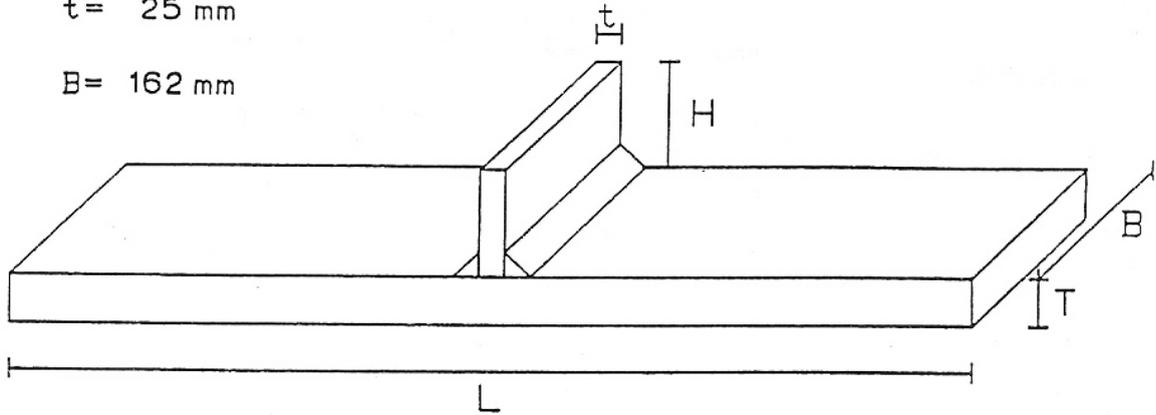


Fig. 1 - Schematizzazione della provetta a T e relative dimensioni

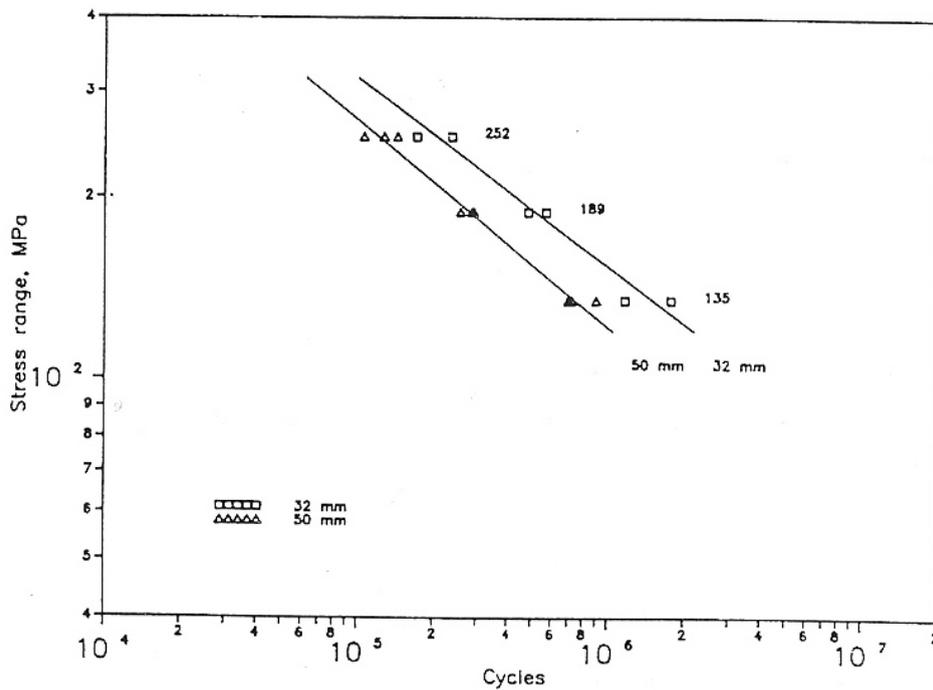


Fig. 2 - Confronto tra le rette di regressione, in termini di N₃, per prove in aria su provette T-butt di diverso spessore (esclusi i dati a 108 MPa)

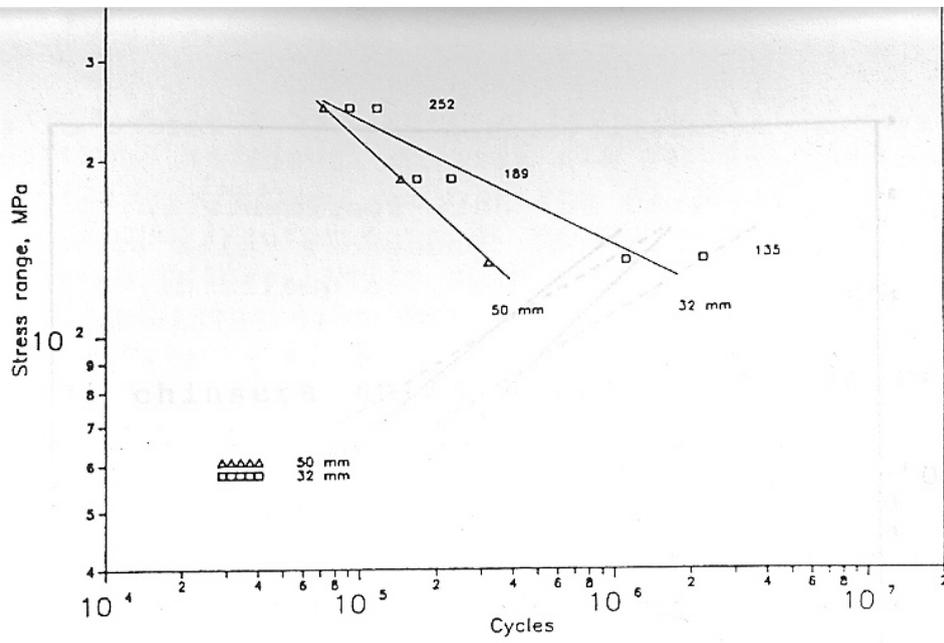


Fig. 3 - Confronto tra le rette di regressione, in termini di N_3 , per prove in acqua di mare su provette T-butt di diverso spessore (esclusi i dati a 108 MPa)

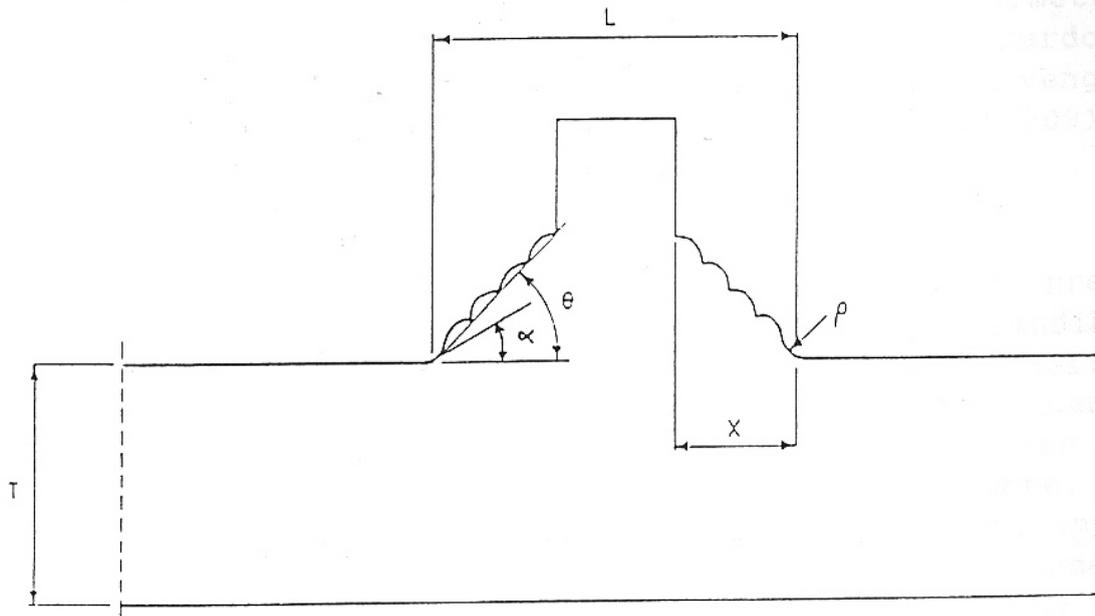


Fig. 4 - Parametri geometrici della saldatura

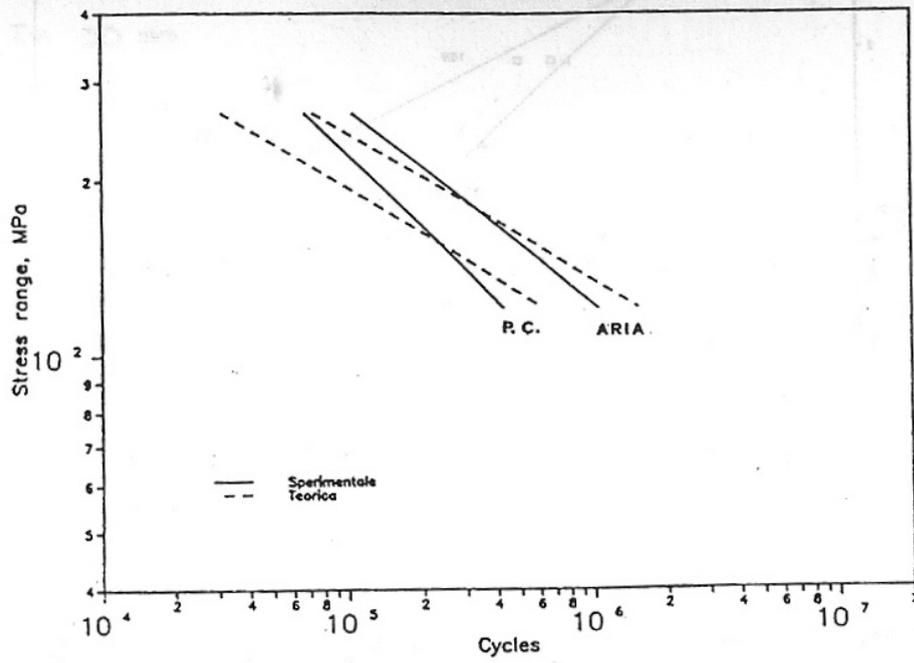


Fig. 5 - Confronto tra le rette di regressione teoriche e sperimentali in termini di N_3 , per prove in entrambi gli ambienti su provette T-butt ($s = 32\text{mm}$).