

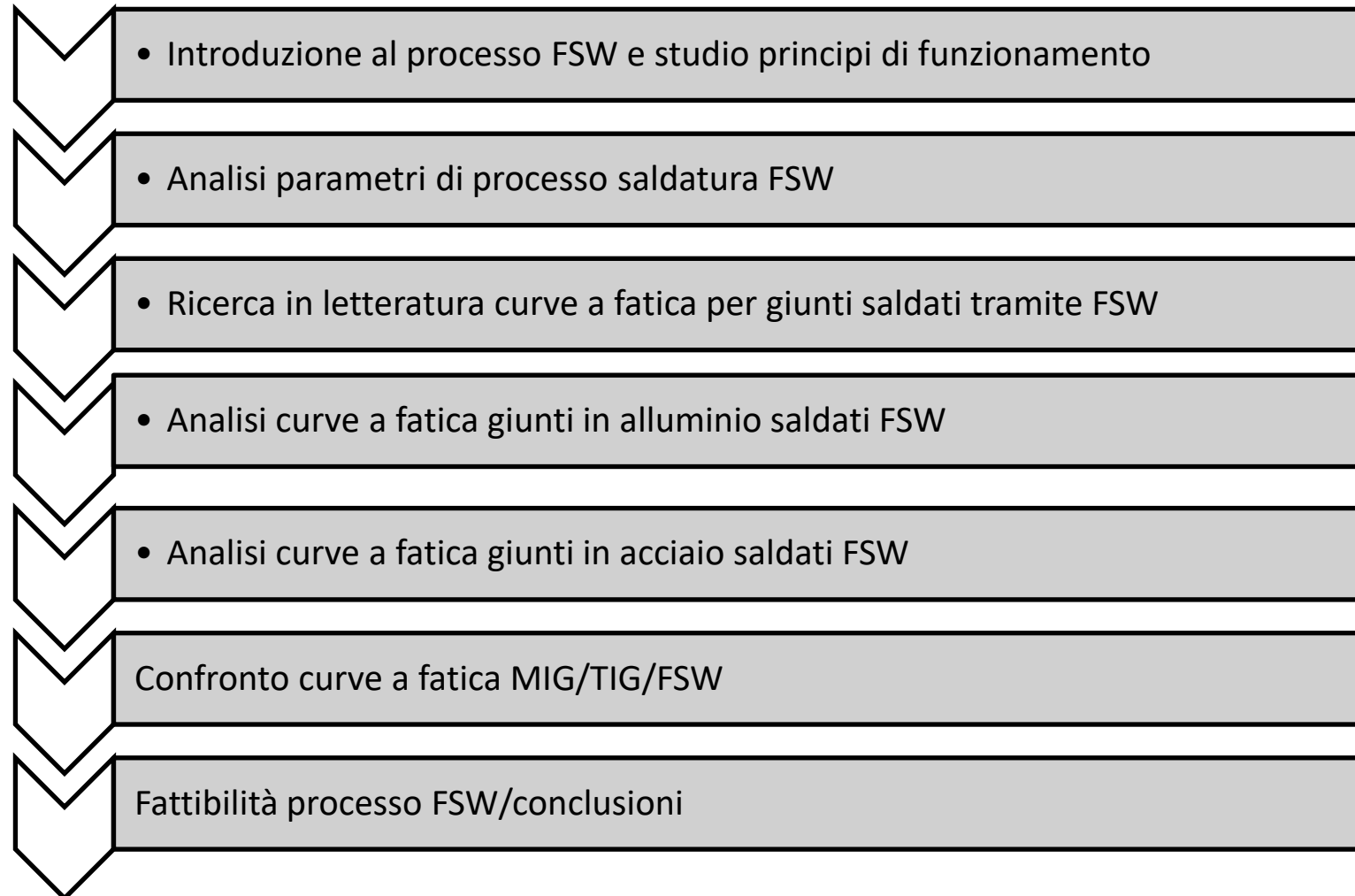
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
RESISTENZA A FATICA DI GIUNZIONI SALDATE OTTENUTE
PER FRICTION STIR WELDING

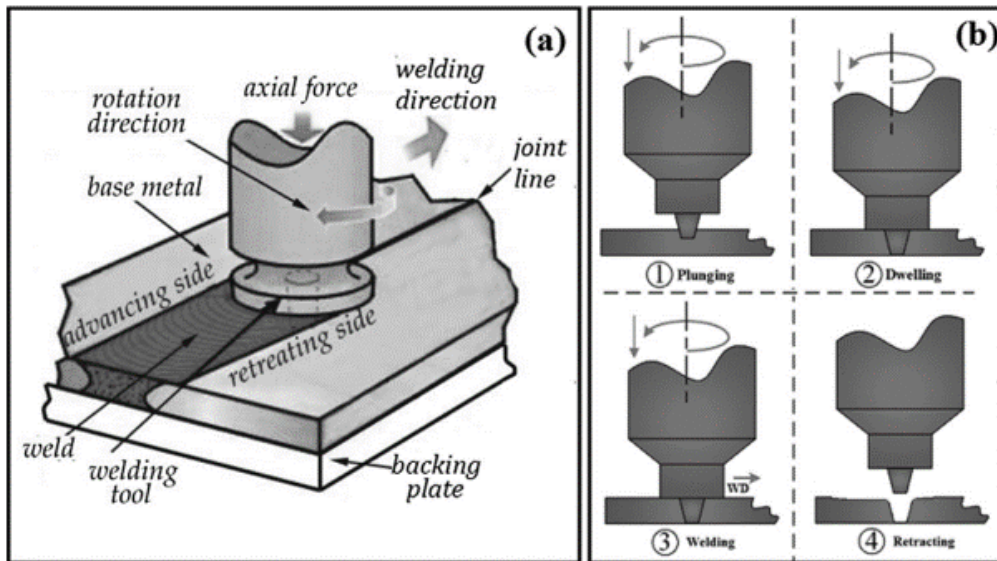
Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Marco Pento*

Padova, 11/03/2022



La **Friction Stir Welding (FSW)** è una tipologia innovativa di **saldatura per attrito allo stato solido** nella quale le **temperature di processo rimangono inferiori alla temperatura di fusione** del materiale. La giunzione avviene grazie ad un utensile (tool) che, entrando in contatto con il materiale e grazie ad un'elevata velocità di rotazione, genera calore per attrito.

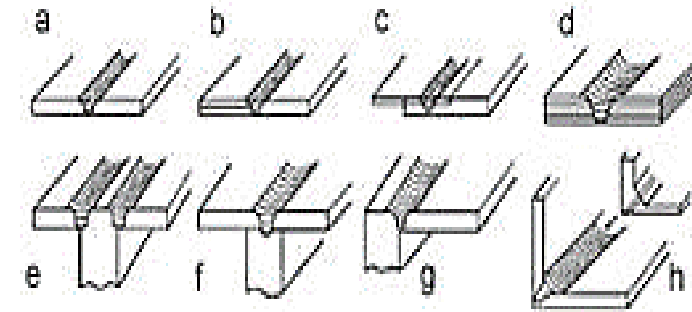


STEP LAVORAZIONE PROCESSO FSW

1. **PLUNGING:** L'utensile entra in contatto con l'interfaccia
2. **DWELLING:** L'utensile rotante si inserisce all'interno del pezzo
3. **WELDING:** L'utensile rotante si muove lungo la linea di saldatura.
4. **RETRACTING:** L'utensile viene estratto lasciando una cavità alla fine della linea di saldatura

Quali sono i **vantaggi** in termini di **resistenza a fatica** di giunti saldati tramite FSW rispetto a saldature più tradizionali?

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> • Eliminazione difetti dovuti a successivo raffreddamento • Pezzo non richiede prelaborazione • Non richiede ambiente inerte • Abbattimento costi di processo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ridotta applicabilità (ottenibile solo con determinate geometrie) • Bassa velocità di saldatura • Elevati costi di investimento • Difficoltà nella realizzazione di saldature non lineari

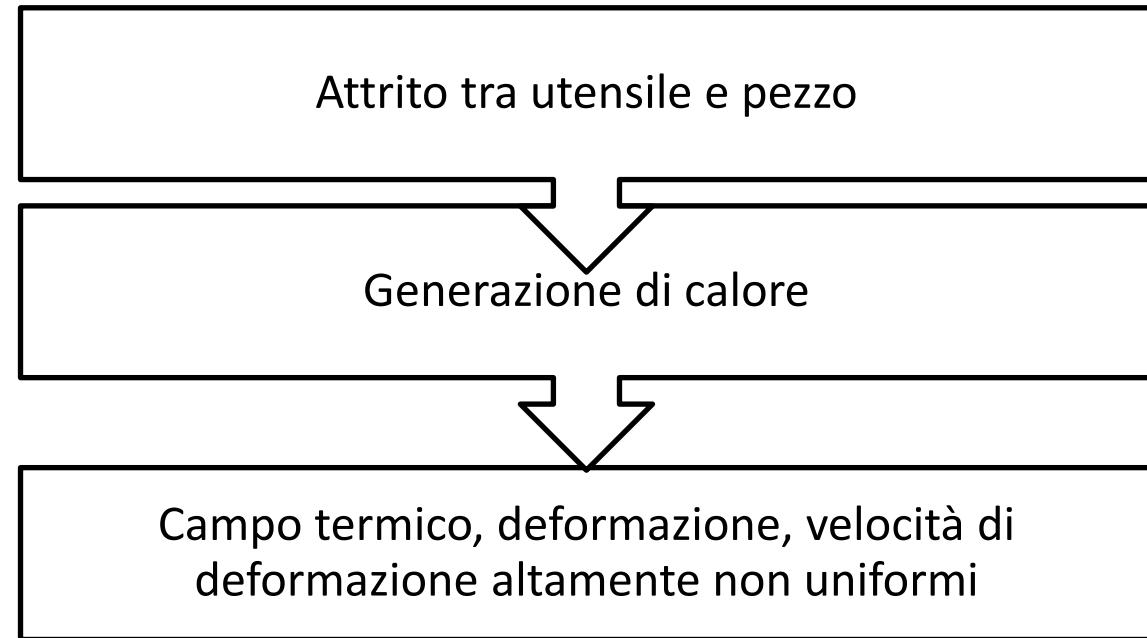
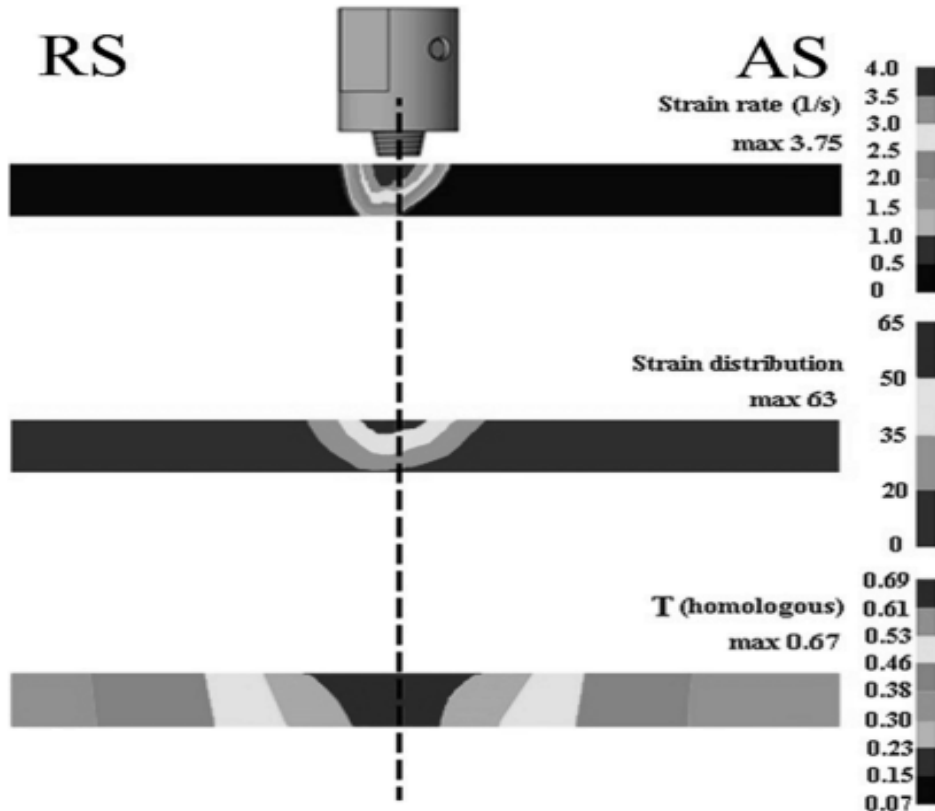


Le principali applicazioni industriali nelle quali vengono utilizzati questi tipi di giunti saldati sono:

- **Fabbricazione di dissipatori di calore**
- **Parti reincise** (FSW di componenti più complessi precedentemente non colabili)
- **Sostituzione di rivettature con saldature**



La microstruttura di un giunto FSW **dipende** sia dal **materiale** sia dai **parametri di processo** utilizzati. Il materiale della zona di saldatura subisce elevate escursioni termomeccaniche che favoriscono i processi di **ricristallizzazione** e **recovery**.



Presentazione delle distribuzioni di temperatura (in alto), di deformazione (al centro) e di deformazione (in basso) su una sezione trasversale di una saldatura in lega AA2024-T4 [A. Heidarzadeh, S. Mironov, R. Kaibyshev, G. Çam, A. Simar, A. Gerlich, F. Khodabakhshi, A. Mostafaei, D.P. Field, J.D. Robson, A. Deschampsj, P. J. Withers k (2021): Friction stir welding/processing of metals and alloys: A comprehensive review on microstructural evolution, Progress in Materials Science 117]

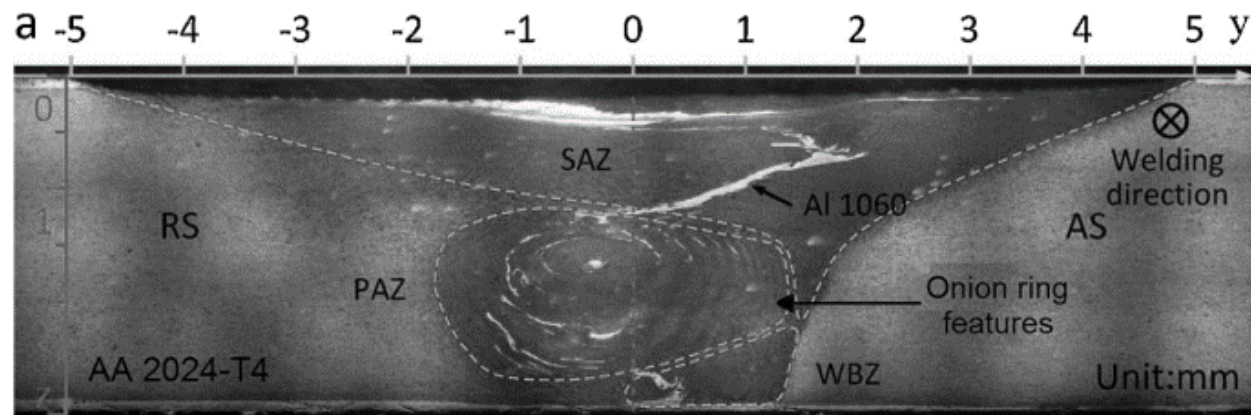
DIFFERENZIAMENTO ZONE DI SALDATURA

Shoulder affected zone (SAZ)

Pin affected zone (PAZ)

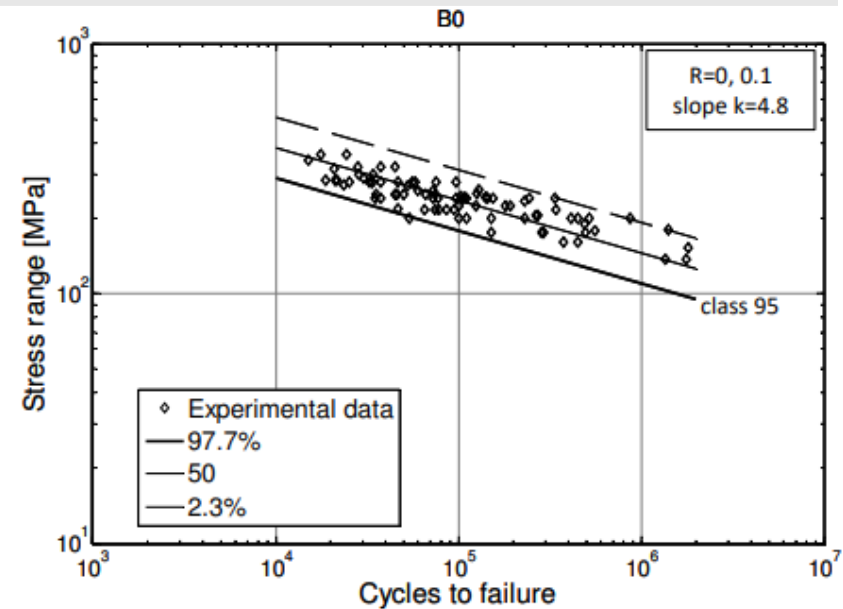
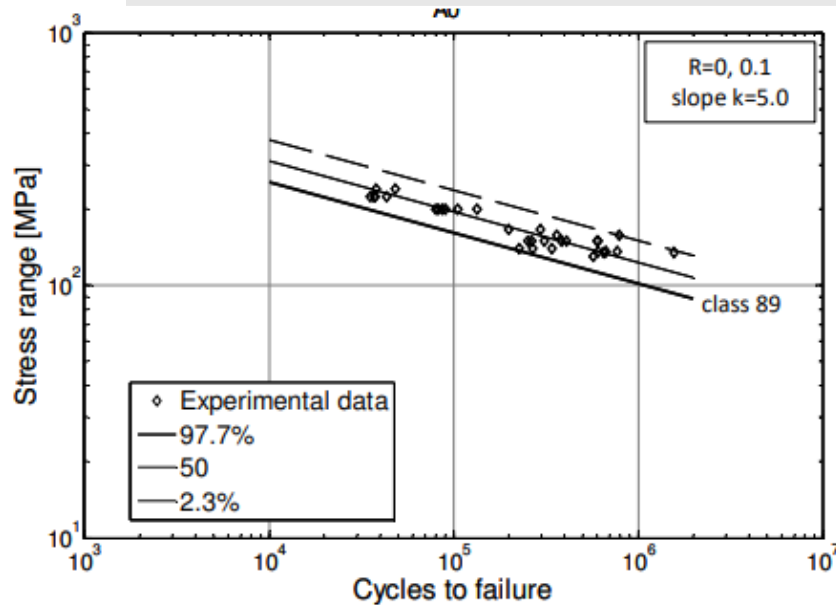
Weld bottom zone (WBZ)

Per cercare di migliorare le proprietà meccaniche e a fatica del giunto sono previste un'attenta **selezione del profilo dell'utensile**, un particolare **raffreddamento della zona termoalterata**. dei particolari **trattamenti termici post-saldatura**.



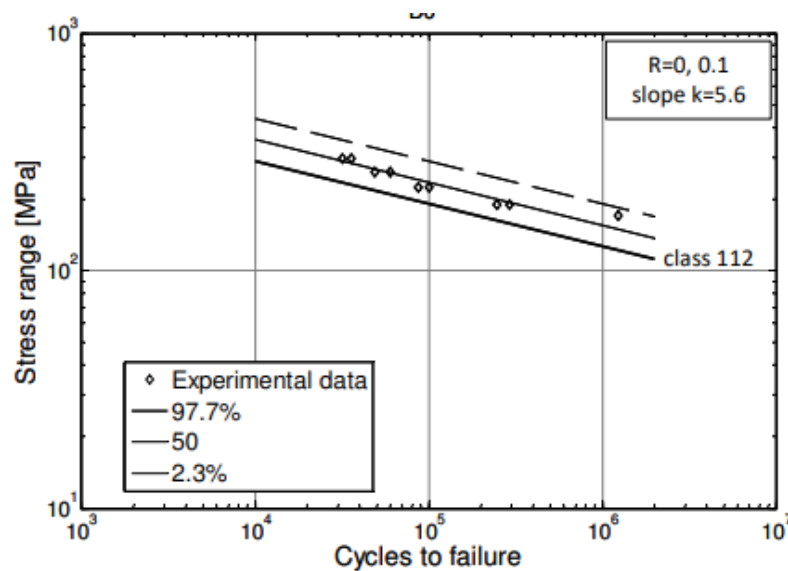
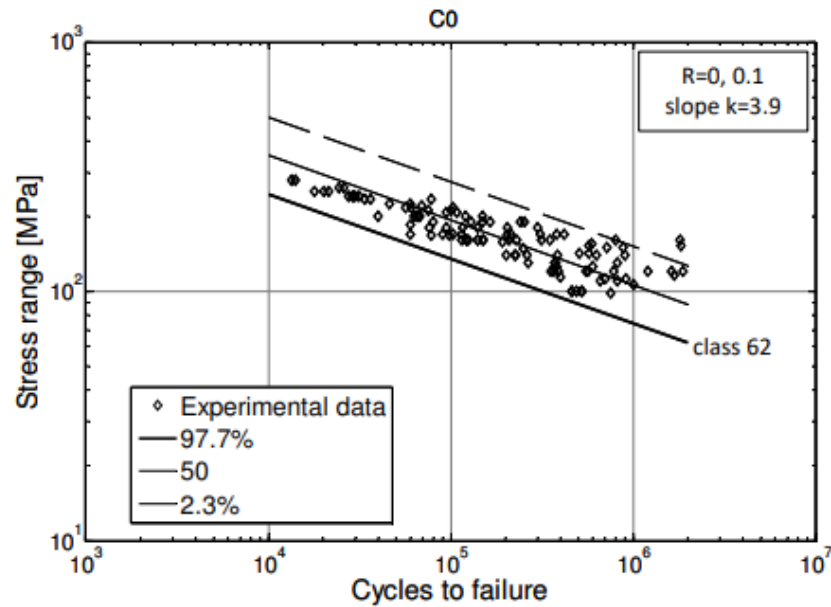
Sezione di un giunto saldato per FSW: si distinguono chiaramente le zone di PAZ, SAZ E WBZ [G.K. Padhy, C.S. Wu, S. Gao: Friction stir based welding and processing technologies - processes, parameters, microstructures and applications, Journal of Material Science & Technologies, 2017]

Tipologia di saldatura	FSW
materiali	Leghe di alluminio 2xxx,3xxx,5xxx,7xxx
Condizione invecchiamento	Naturale e artificiale
geometrie	Piastre piane e tubolari
Tipologia di carico	Monoassiale con R costante



Curve di fatica per **giunti di alluminio invecchiati naturalmente** (a sinistra serie 5xxx, a destra serie 2xxx e 6xxx)

Fonte: [Maggiolini, Benasciutti, Susmel, Hattingh, James, Tovo : Friction stir welds in aluminium: Design S-N curves from statistical analysis of literature data, Fatigue Fract Eng Mater Struct. 2018;41:2212–2230]



Curve di fatica per giunti di alluminio invecchiati artificialmente (a sinistra serie 5xxx, a destra serie 2xxx e 6xxx)

I dati ottenuti, confermano, se confrontati con l'EUROCODICE 9, la classificazione fatta da Lomolino nel 2005:

La **condizione di tempra** nelle leghe della serie 2xxx e 6xxx ha una **notevole importanza sulla resistenza a fatica** dei giunti saldati per FSW

Nelle leghe della serie 7xxx, le **saldature ottenute per FSW** hanno una **vita a fatica simile a quella della piastra madre**

Il rapporto di sollecitazione R influenza notevolmente sia la **resistenza a fatica** del giunto stesso, sia il valore della pendenza k della curva di Whooler.

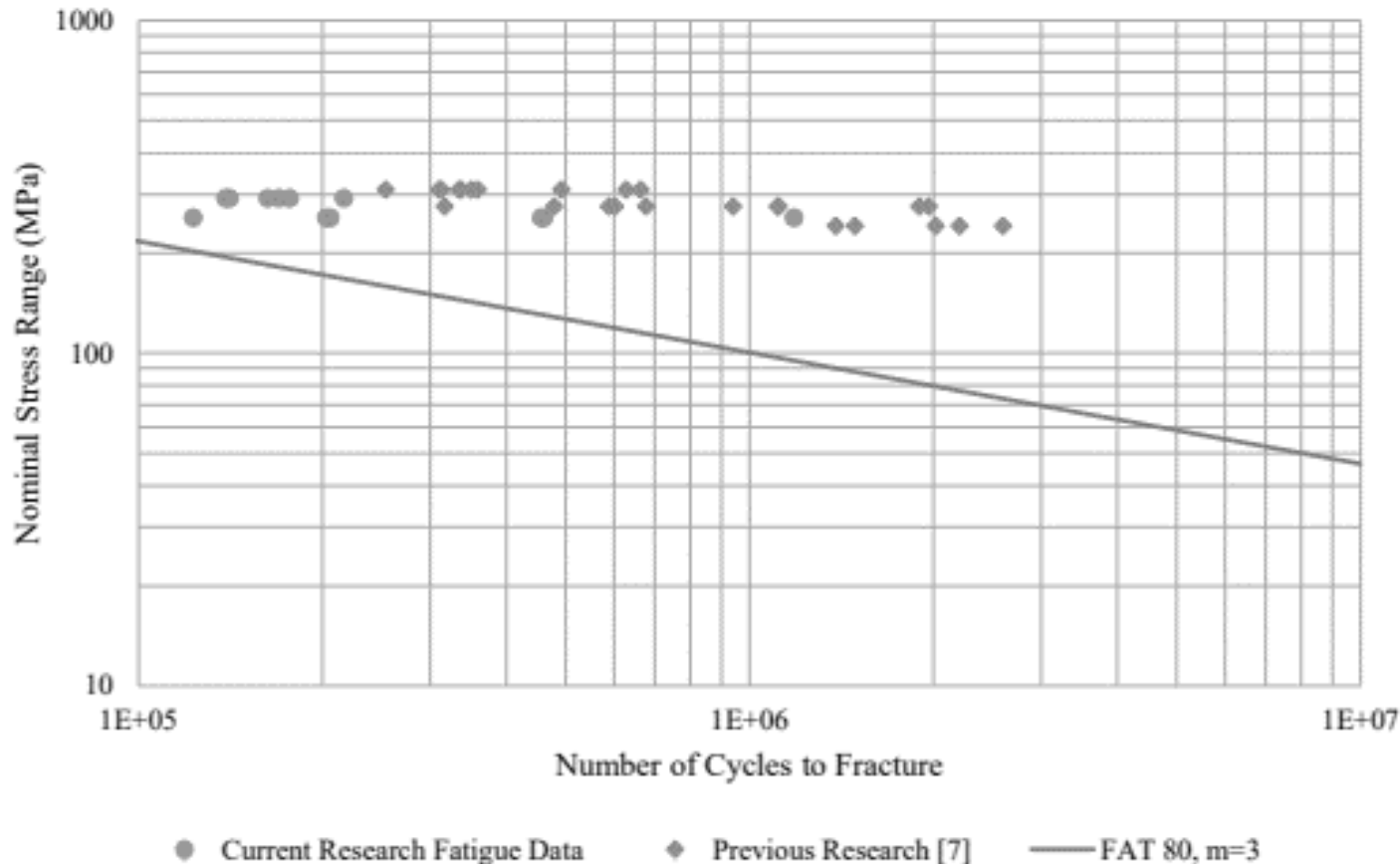
Il confronto dei valori ottenuti per i giunti saldati per FSW con i valori tabulati dall' EUROCODICE 9 permette di affermare che essi sono simili con quelli della lega della piastra madre

Tipologia di saldatura	FSW
geometria	Piastre piane spessore 6mm 2000mm x200mm
materiale	Acciaio DH36
Velocità avanzamento tool	300mm / min
Velocità di rotazione	400 giri/min
Tipologia di prova	Monoassiale in controllo di posizione

Per contestualizzare i dati raccolti essi sono stati confrontati sia con studi precedenti relativi a DH36-FSW che ai valori suggeriti dall' International Institute of Welding (IITW) (FAT80). Tutti i dati raccolti presentano una probabilità di sopravvivenza del 97,7%.

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	N
0.11	0.37	1.48	0.014	0.004	0.02	0.02	0.002

Fonte: [Sorger, Eero Lehtimäki, Susanna Hurme, Heikki Remes, Pedro Vilaça & Lars Molter (2018) Microstructure and fatigue properties of friction stir welded high-strength steel plates, Science and Technology of Welding and Joining, 23:5, 380-386, DOI]



La normativa FAT80 considera, per saldature tradizionali, un $\Delta\sigma$ per un numero di cicli a rottura pari a $2 \cdot 10^6$ pari a 80MPa. Dai dati sperimentali appare che il range nominale di tensione per tale numero di cicli a rottura sia superiore a 110MPa.

Di conseguenza, **un giunto FSW di acciaio DH36**, rispetto a un giunto ottenuto con saldature tradizionali, **presenta un $\Delta\sigma$ maggiore di circa il 30-35%** (a $2 \cdot 10^6$ cicli).

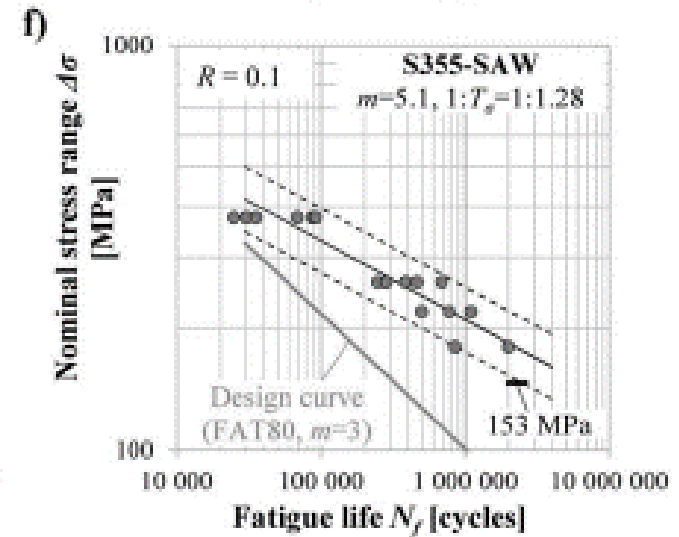
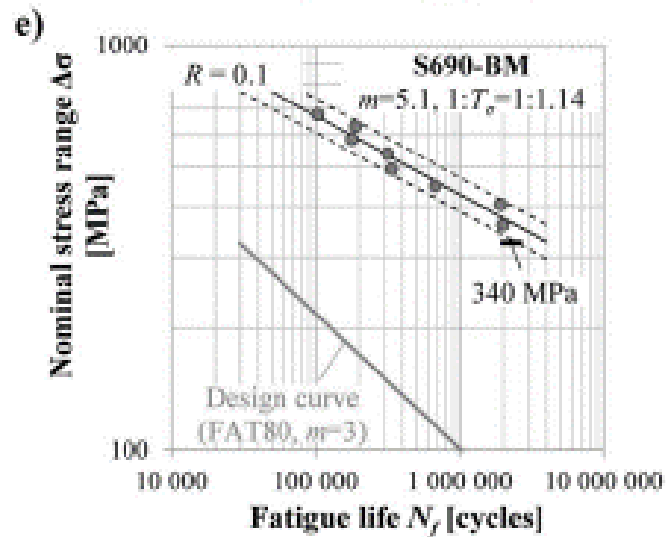
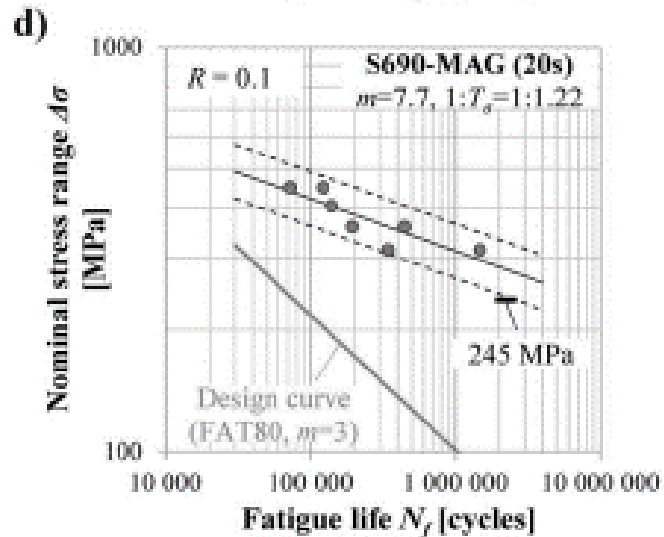
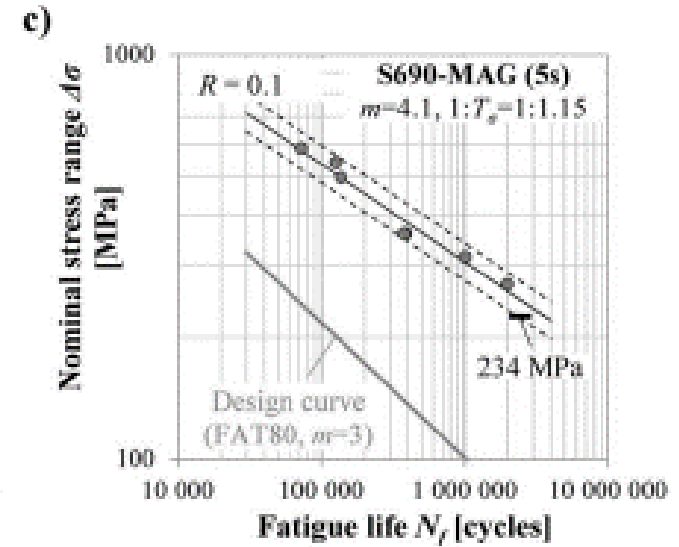
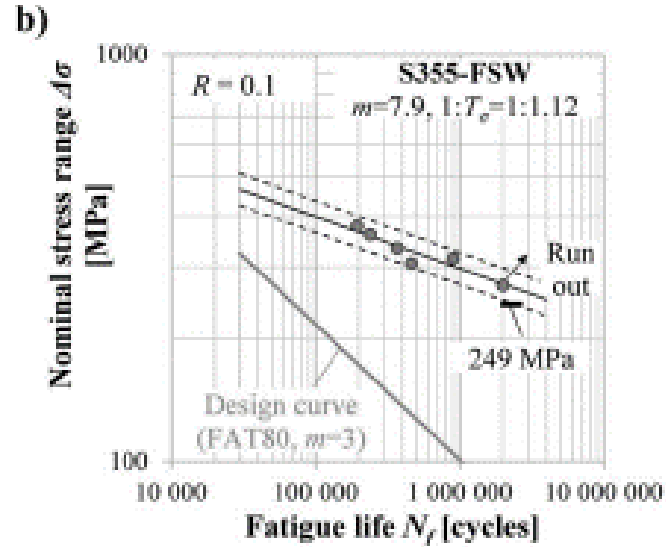
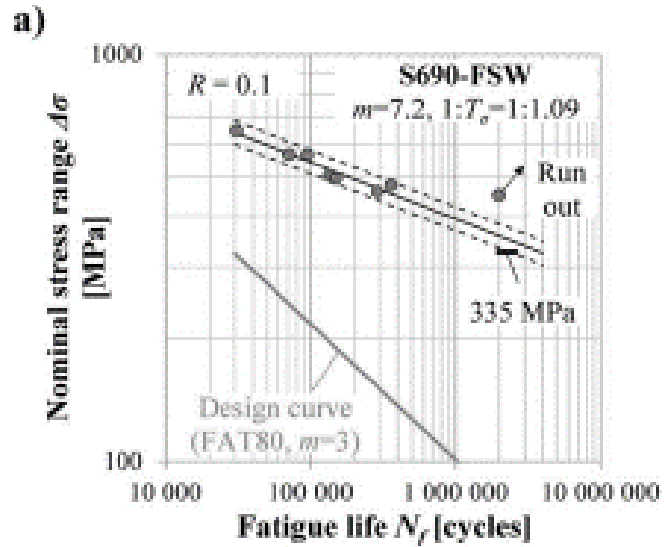
Fonte: [Sorger, Eero Lehtimäki, Susanna Hurme, Heikki Remes, Pedro Vilaça & Lars Molter (2018) Microstructure and fatigue properties of friction stir welded high-strength steel plates, Science and Technology of Welding and Joining, 23:5, 380-386, DOI]

Tipologia di saldatura	FSW/MIG/TIG
materiale	Acciai HSS S690 e S355
geometria	Piastre piane di spessore 6mm
Velocità di saldatura	60 mm/min (S690) , 350 mm/min (S355)
Velocità di rotazione	300 giri/min (S690) e 450 giri/min (S355)
Tipologia di prova	Monoassiale di trazione in controllo di controllo di deformazione, R=0,1

Material	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Ti
S690	0.059	0.205	1.79	0.007	0.002	0.026	0.083	0.013	0.113

Material	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	N
S355	0.11	0.37	1.48	0.014	0.004	0.02	0.02	0.002

Fonte: [Sorger, Eero Lehtimäki, Susanna Hurme, Heikki Remes, Pedro Vilaça & Lars Molter (2018) Microstructure and fatigue properties of friction stir welded high-strength steel plates, Science and Technology of Welding and Joining, 23:5, 380-386, DOI]



La resistenza a fatica di giunti ottenuti per FSW, risulta essere superiore rispetto ai limiti imposti dall'EUROCODICE 9 (aumento percentuale del 190%).

Trattamenti di lucidatura o di machining rivestono un ruolo fondamentale in quanto giunti dello stesso materiale e della stessa geometria ottenuti per FSW presentano limiti a fatica diversi a seconda della finitura superficiale.

I giunti ottenuti per FSW presentano caratteristiche di resistenza alla fatica notevolmente superiori rispetto agli stessi giunti ottenuti con saldature tradizionali quali MIG/TIG (in media un incremento percentuale del 55%).