

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale***  
***VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A FATICA***  
***DI GIUNZIONI SALDATE PER FRICTION STIR WELDING***

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Davide Capiotto*

Padova, 17/07/2023

# IMPORTANZA FRICTION STIR WELDING



- Prestazioni meccaniche
- Leggerezza
- Leghe di alluminio

Immagine: Advanced Integration Technology (AINT), Friction Stir Welding.

Grazie alle sue caratteristiche l'alluminio è ad oggi uno dei materiali più utilizzati, con un'utilità particolarmente marcata **nell'industria dei trasporti**:

- Rapporto resistenza / peso specifico fino a  $200 \left[ \frac{MPa}{g/cm^3} \right]$  migliore rispetto ai  $140 \left[ \frac{MPa}{g/cm^3} \right]$  dell'acciaio;
- Facilità di fabbricazione e malleabilità;
- Resistenza alla corrosione tramite ossidazione anodica protettiva;
- Riciclabilità.

Le leghe di Alluminio più utilizzate con la FSW sono le serie 6000 e 7000.

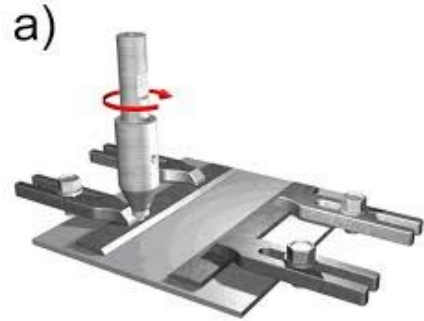


Immagine treno: PubliTec, costruzione leggera in alluminio per treni superelevati.

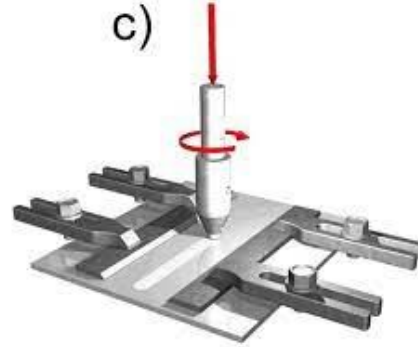


Immagine aereo: Smiths, aerospace aluminium alloys.

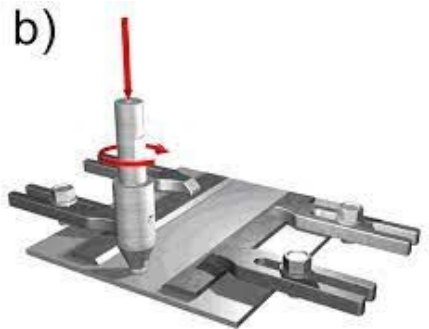
## FUNZIONAMENTO FRICTION STIR WELDING



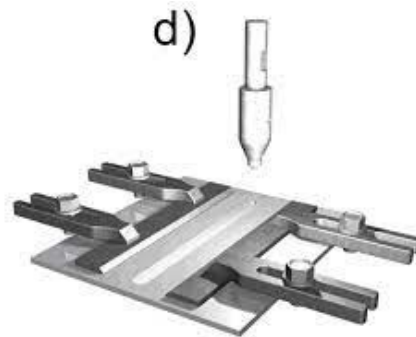
a) L'utensile ruota, scaldando il materiale con la punta;



c) L'utensile trasla, seguendo i lembi dei due materiali da unire;



b) Tramite l'applicazione di una forza normale, la punta penetra nel materiale;



d) Completato il cordone di saldatura, l'utensile viene sollevato.

Dettaglio utensile



Punta

Spalla

Valori tipici:

- Velocità di rotazione: 500 – 2000  $\left[\frac{\text{giri}}{\text{min}}\right]$
- Velocità avanzamento: 20 – 400  $\left[\frac{\text{mm}}{\text{min}}\right]$
- Forza normale: 10 – 14 [kN]

Immagini processo: ENEA, report RdS/PAR2015/068.

Immagine utensile: Università degli Studi di Napoli, Luigi Carrino, Tecnologie Speciali 1.





Vidéo: Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ).

CRIQ

- Effetto ridotto del calore sul materiale di base;
- Assenza di porosità.

Test sperimentali svolti su provini in lega di alluminio 6061.

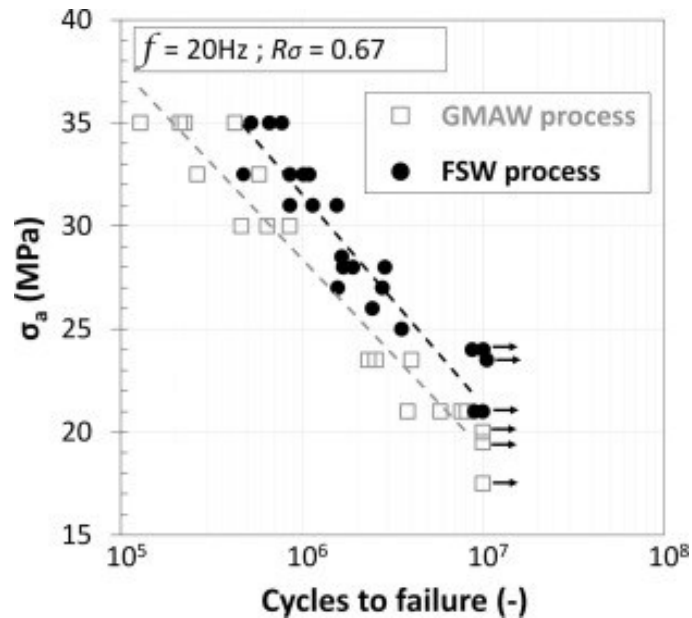
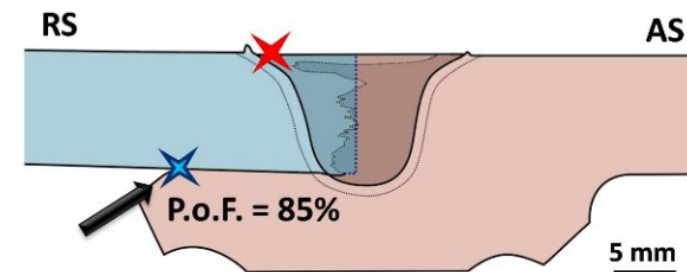
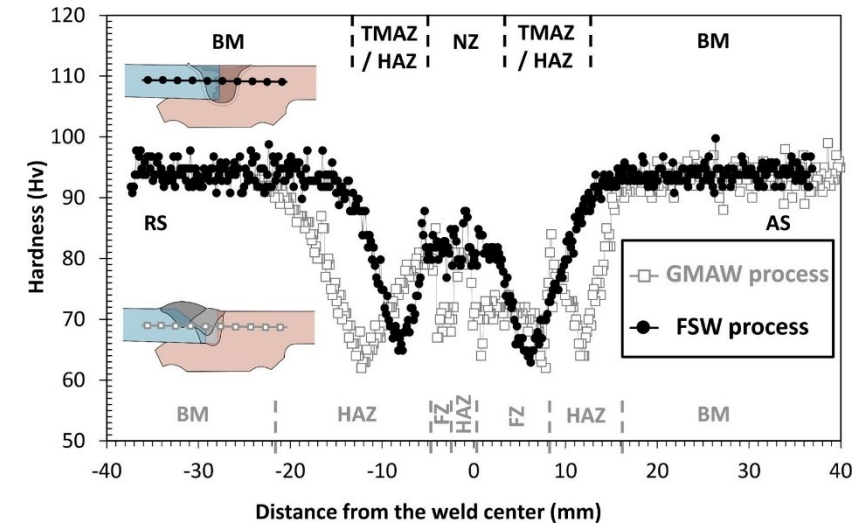


Diagramma di Wöhler FSW vs GMAW

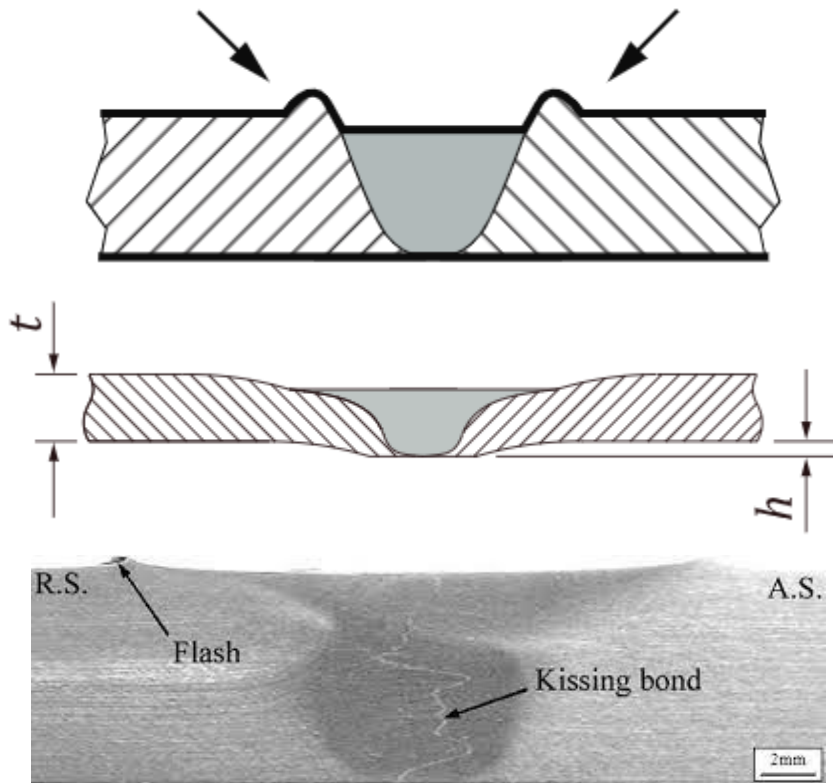
- Ad ampiezze elevate valori di resistenza a fatica **fino a 3 volte superiori**.
- Runout con ampiezze **più elevate del 20%**.

Immagine e risultati: Fatigue performances of FSW and GMAW aluminum alloys welded joints: Competition between microstructural and structural-contact-fretting crack initiation.



## Esempi di difetti nelle giunzioni FSW

- Toe flash
- Deformazione dell'area di giunzione
- Kissing bond

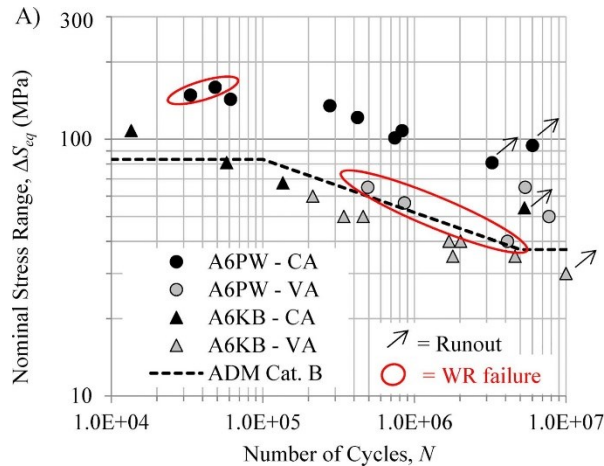


Per ridurre il più possibile l'insorgenza di difetti bisogna impostare correttamente i parametri di saldatura, tuttavia certi difetti come i kissing bond sono **difficili da evitare ed individuare**.

Immagine: ISO 25239-5, Friction stir welding – Aluminium Part 5: Quality and inspection requirements, British Standard.

Immagine Kissing Bond: Tianjin University, Effect of kissing bond on fatigue behavior of friction stir welds on Al 5083 alloy.

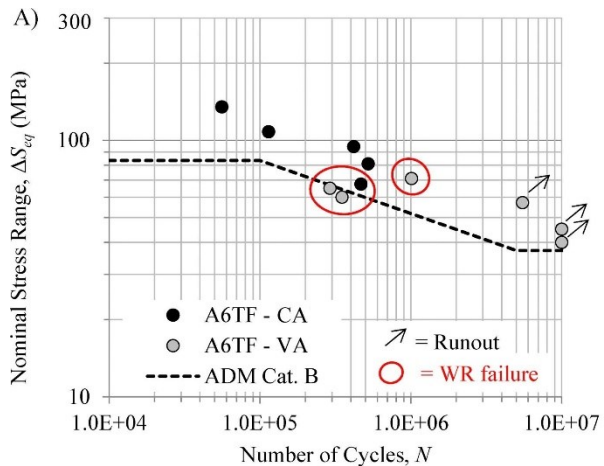
I difetti sono uno degli elementi che hanno più influenza nella resistenza a fatica delle giunzioni ottenute tramite FSW.



Test sperimentali svolti su provini in lega di alluminio 6061.

Confronto tra giunzioni **propriamente saldate** e giunzioni affette da **kissing bond**:

- Resistenza a fatica notevolmente compromessa;
- Outlier che si sono rivelati solo in seguito affetti da KB;
- Confronto avvenuto con ampiezze costanti e variabili.



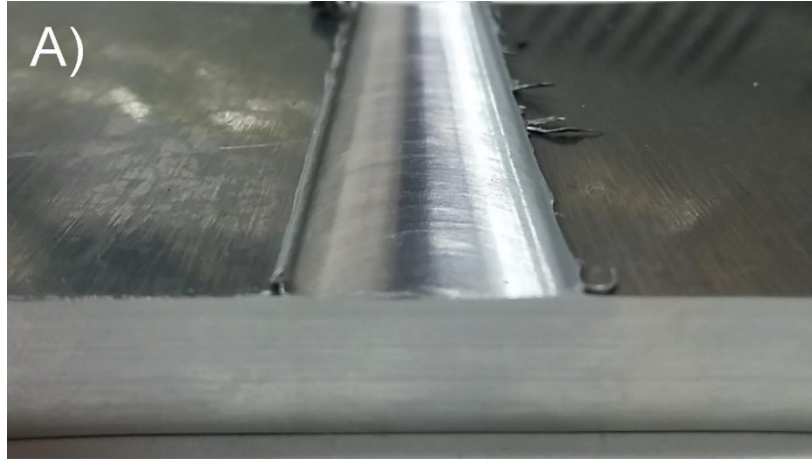
Confronto tra giunzioni **propriamente saldate** e giunzioni affette da **toe flash**:

- Riduzioni di resistenza a fatica minori dovuti a diminuzione di spessore;
- Problema KB.

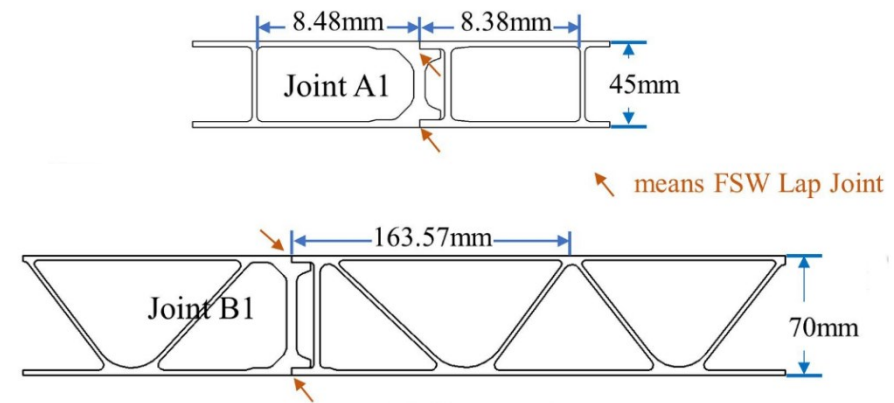
Immagini e risultati: University of Waterloo, Effect of quality control parameter variations on the fatigue performance of aluminum friction stir welded joints.



Giunto di testa 6061 propriamente saldato



Estrusi complessi in lega di alluminio 6005 estratti dalla struttura della carrozzeria di un veicolo ferroviario.



Dettaglio frattura provino affetto da kissing bond

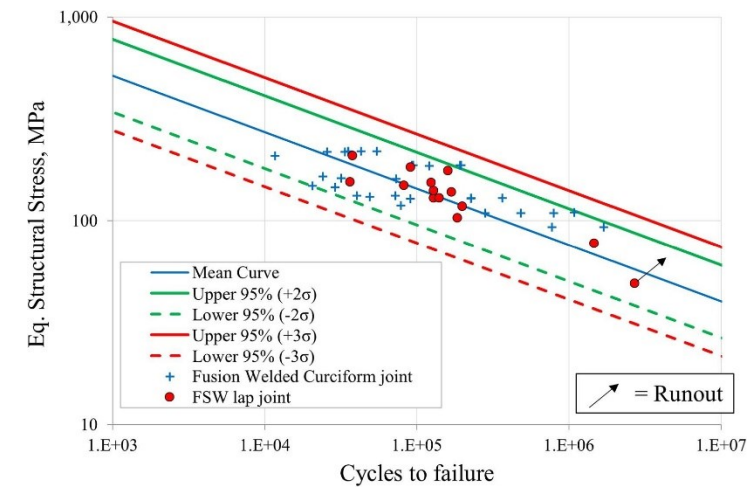
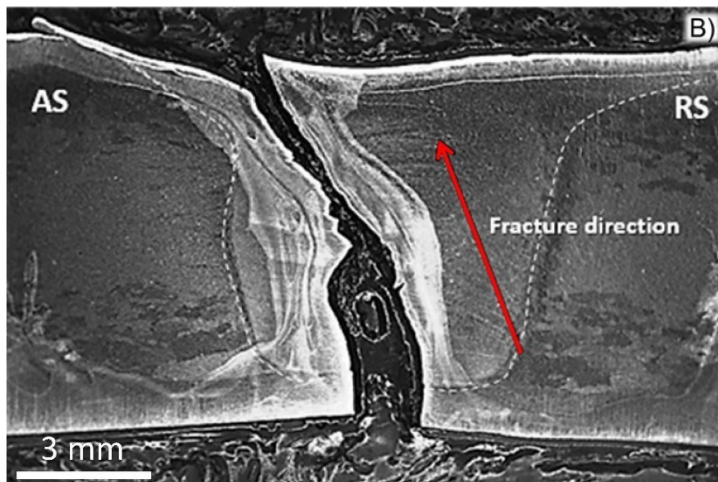


Immagine (lato sx): University of Waterloo, Effect of quality control parameter variations on the fatigue performance of aluminum friction stir welded joints.

Immagine (lato dx): Fatigue resistance characterization of frictions stir welds between complex aluminum extrusions: An experimental and finite element study.

## Trattamento superficiale: rullatura meccanica (alluminio 7075)

- Finitura superficiale;
- Superficie a grano fino;
- Cuore a grano grosso.

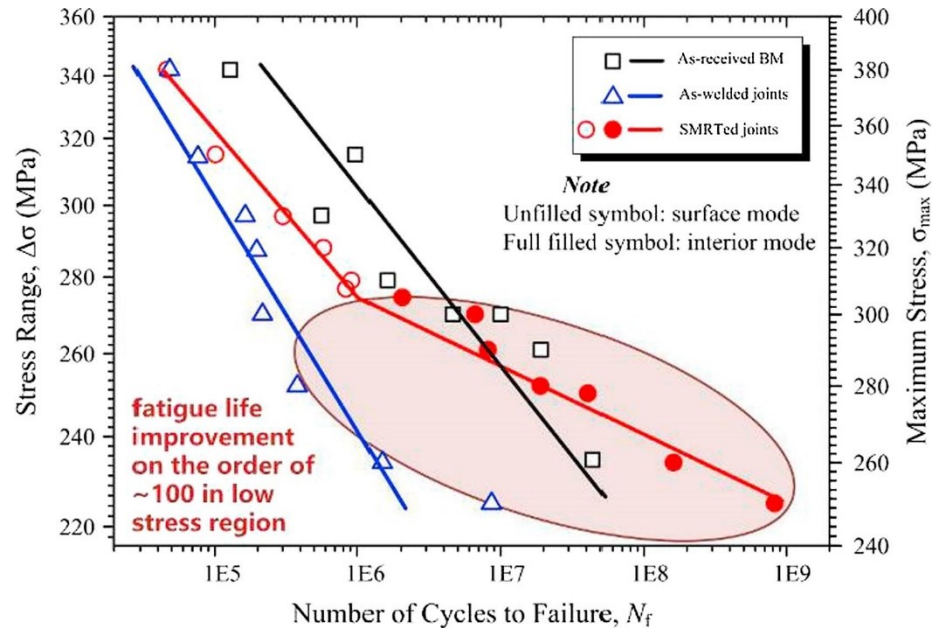
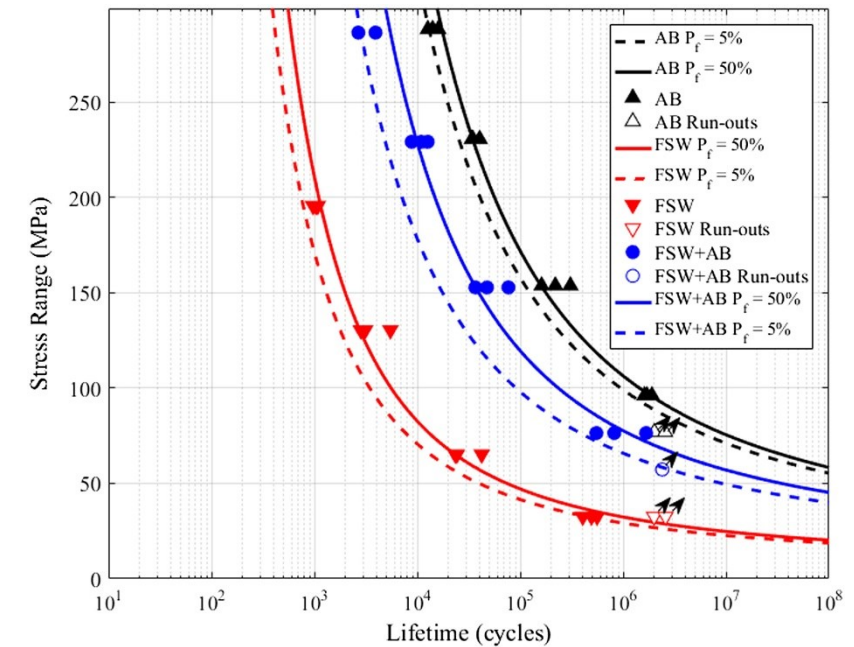
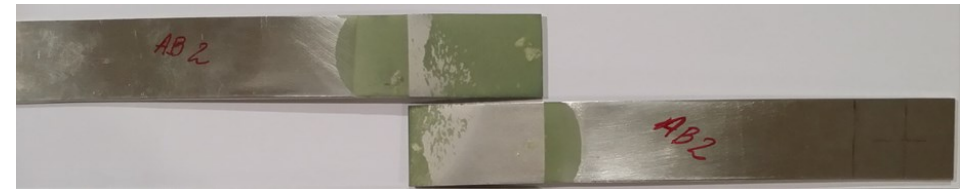


Immagine e risultati: Incredible improvement in fatigue resistance of friction stir welded 7075-T651 aluminum alloy via surface mechanical rolling treatment;  
Fatigue performance of hybrid overlap friction stir welding and adhesive bonding of an Al-Mg-Cu alloy.

## Giunzione ibrida: FSW – Collante adesivo (alluminio 2024)

- Utilizzabile in giunti a sovrapposizione.



La friction stir welding è una tecnologia che offre prestazioni di resistenza a fatica **fino a 3 volte superiori** ad ampiezze di tensione elevate rispetto alle saldature ad arco convenzionali, con miglioramenti osservabili anche ad ampiezze ridotte con una **resistenza superiore del 20%**.

La tecnologia necessita di un **processo di saldatura meticoloso** e di un buon **controllo qualità** in quanto spesso soggetta alla presenza di difetti come i kissing bond, difficili da rilevare e che comportano una diminuzione **fino a 10 volte** della vita a fatica.

Le buone possibilità di miglioramento della tecnologia portano a pensare che nel futuro essa potrà essere perfezionata, rendendo la FSW un elemento ancora più fondamentale per il raggiungimento di obiettivi tecnologici fino a qualche anno fa impossibili, soprattutto nell'industria dei trasporti.



Immagine treno: Röchling Gruppe, tecnologia ferroviaria e dei veicoli ferroviari.