

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

***Relazione per la prova finale***  
***«Studio di giunti saldati in acciaio bainitico con consumabili a basso e medio carbonio, mediante dilatometria e prove di trazione»***

Tutor universitario: Prof. Luca Pezzato

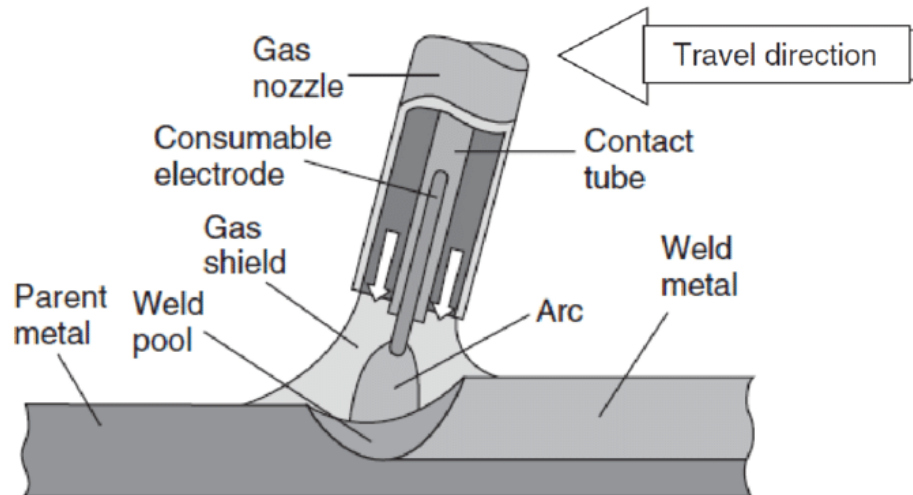
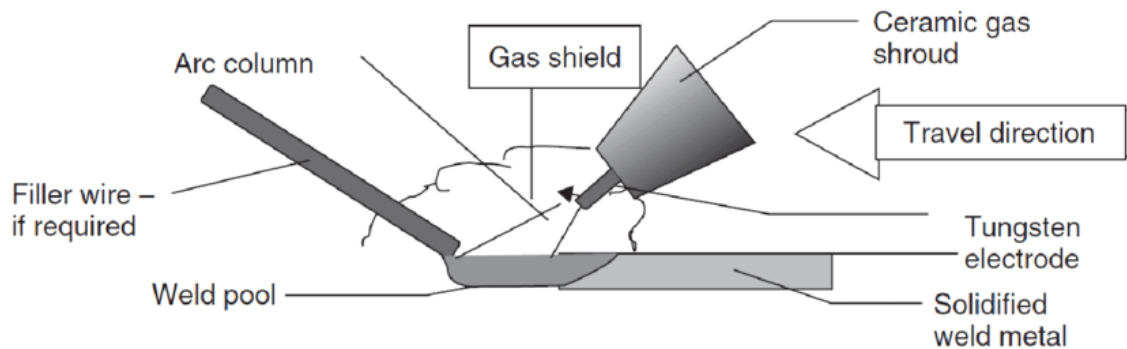
Laureando: *Vittoria Marchesin*

Padova, 10/07/2023

**L'OBIETTIVO DEL LAVORO:**  
**STUDIARE L'EFFETTO DEI TRATTAMENTI**  
**TERMICI POST-SALDATURA** IN GIUNTI SALDATI  
CON UN ACCIAIO BAINITICO A MEDIO TENORE DI  
CARBONIO ED ALTO TENORE DI SILICIO

## TECNICHE DI SALDATURA

### TIG «Tungsten Inert Gas»



Sottocategoria del GTAW, cioè «*Gas Tungsten Arc Welding*»

Arco elettrico (corrente e voltaggio)

Atmosfera inerte (gas Ar, He, CO<sub>2</sub>)

Materiale di riempimento del cordone (barretta di metallo consumabile)

Elettrodo di tungsteno non-consumabile

Velocità di raffreddamento

Bassa penetrazione del cordone

Torcia

### MIG «Metal Inert Gas»

Sottocategoria del GMAW, cioè «*Gas Metal Arc Welding*»

Arco elettrico (corrente e voltaggio)

Atmosfera inerte (gas Ar, He, CO<sub>2</sub>)

Materiale di riempimento del cordone

Elettrodo

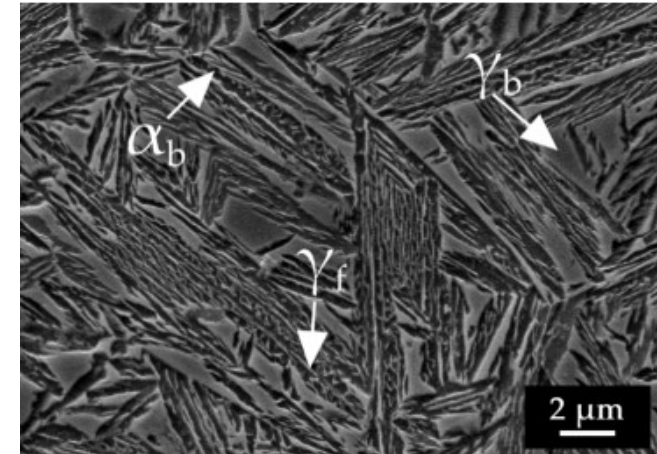
Velocità di raffreddamento

Alta penetrazione del cordone

## COMPOSIZIONI DI ACCIAIO BASE E MATERIALI DI RIEMPIMENTO

MATERIALE BASE: ACCIAIO BAINITICO

C %	Si %	Al %	Mn %	Fe %	Others %
0.38	3.2	0.1	2.56	93.52	<0.5



CONSUMABILE TIG: INETIG 120 S1 (diametro di 1.6mm)

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	Ni %	Mo %	Cu %
0.08	1.70	0.50	0.007	0.007	0.10	2.3	0.50	0.15

► Composizione gas inerte usato insieme al filo di riempimento (I1): 100% Ar

CONSUMABILE MIG: INEFIL NIMOCR (diametro di 0.8mm)

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	Ni %	Mo %	Cu %	V %
0.08	1.60	0.50	0.007	0.007	0.30	1.50	0.25	<0.15	0.09

► Composizione gas inerte usato insieme al filo di riempimento (M21): 92% Ar, 8% CO<sub>2</sub>

## PARAMETRI dei PROCESSI di SALDATURA

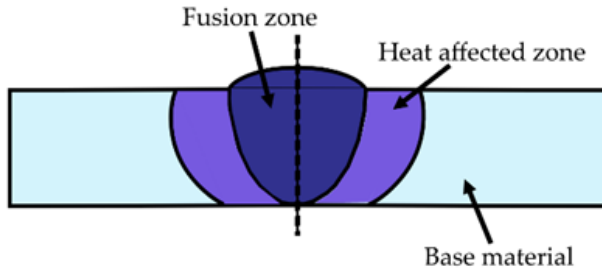
	MIG	TIG
<b>Materiale Base</b>	Acciaio bainitico	Acciaio bainitico
<b>Geometria giunto</b>	Butt weld – V groove	Butt weld – V groove
<b>Preriscaldamento</b>	200 °C	200 °C
<b>PWHT</b>	/	/
<b>Numero passate</b>	6	14
<b>Posizione</b>	EN ISO 6947: PA	EN ISO 6947: PA
<b>Materiale d’apporto – EN /AWS</b>	EN ISO 16834-A: G 69 4 M21 Mn3Ni1CrMo	EN ISO 16834-A: W 79 6 II Mn4Ni2Mo
<b>Materiale d’apporto – diametro</b>	0.8 mm	1.6 mm
<b>Gas di protezione</b>	EN ISO 14175: M21	EN ISO 14175: II
<b>Corrente di saldatura</b>	168 A	188 A
<b>Tensione di saldatura</b>	27 V	15 V
<b>Velocità di saldatura</b>	37 cm/min	19 cm/min
<b>Apporto termico</b>	0.80 kJ/cm	0.91 kJ/cm
<b>Temperatura di interpass</b>	260 °C	260 °C

# CARATTERIZZAZIONE

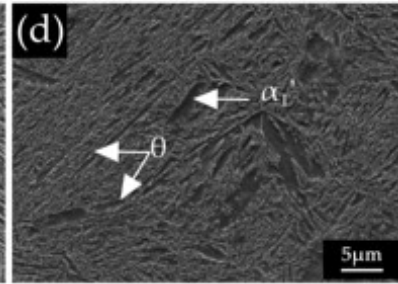
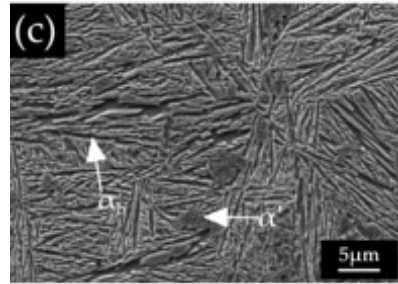
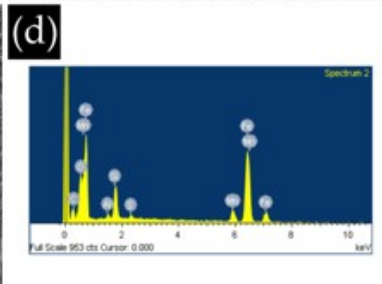
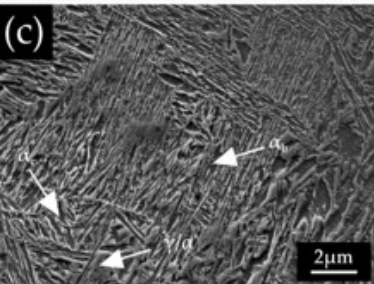
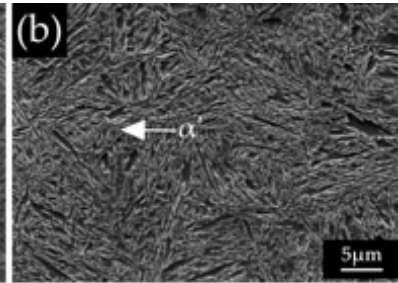
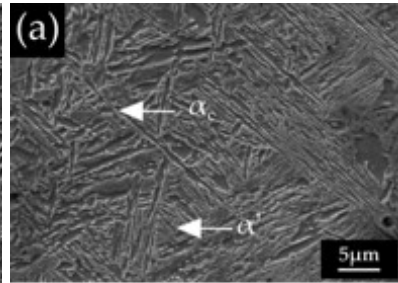
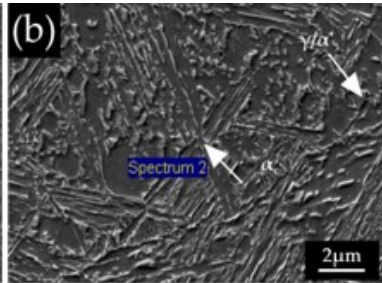
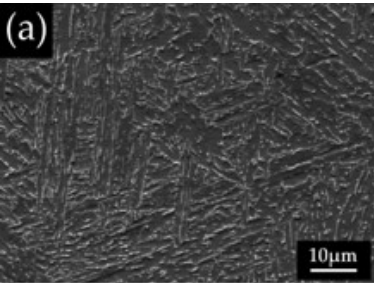
(campioni *as-weld* e post trattamento termico)

- Microscopio ottico
- SEM (*Scanning Electron Microscope*)
- Durezze (Vickers, peso 300g)
- Prove meccaniche sulla sezione trasversale rispetto alla direzione di saldatura
- Dilatometro



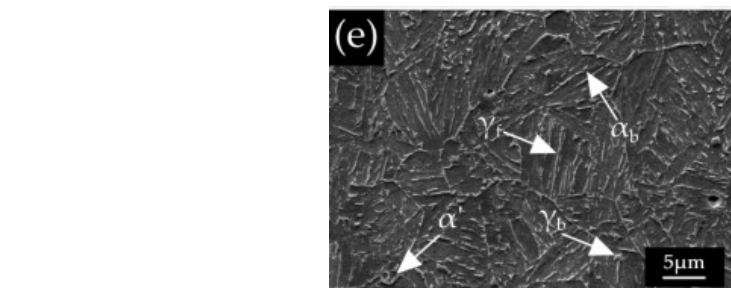
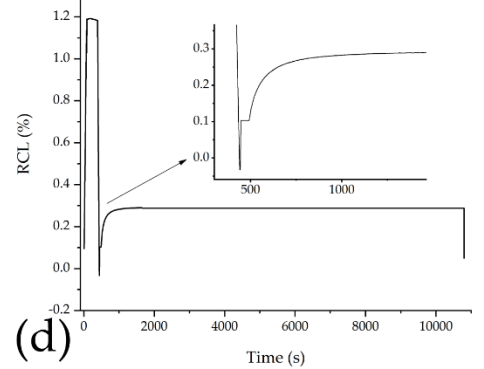
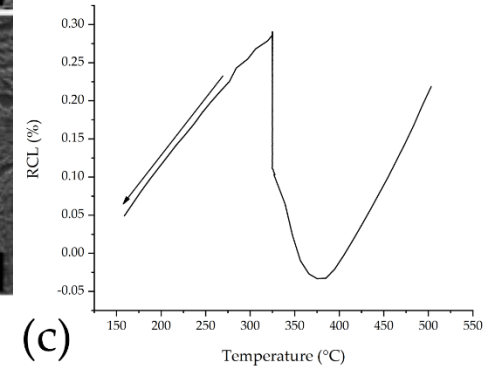
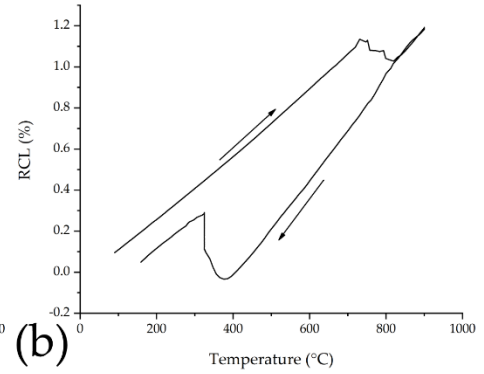
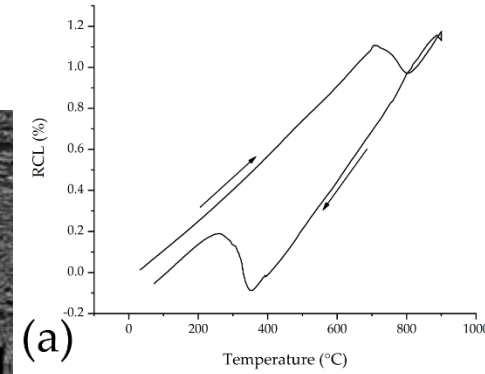


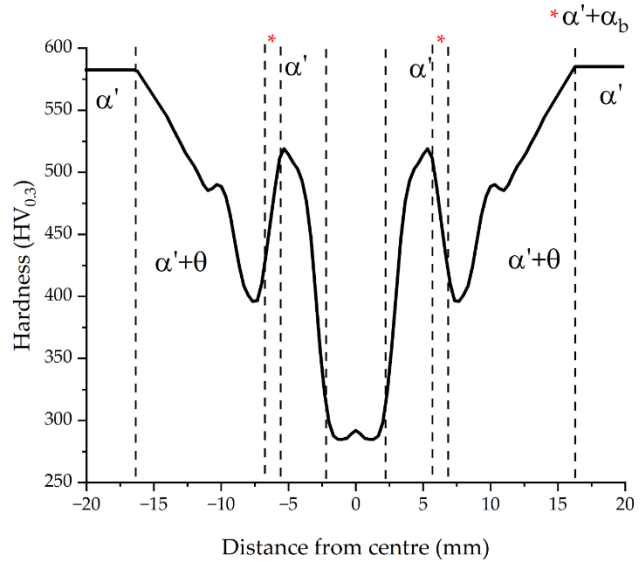
Ac1 (°C)	Ac3 (°C)	Ms (°C)
720	837	356



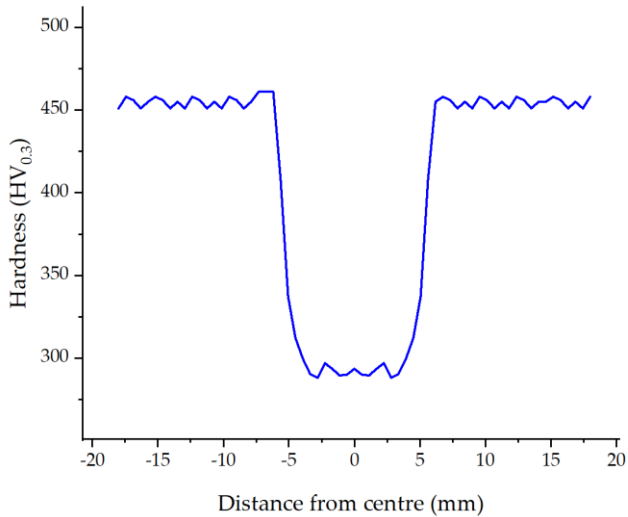
Micrografie al SEM as weld (cordone)

Micrografie al SEM as weld (HAZ)



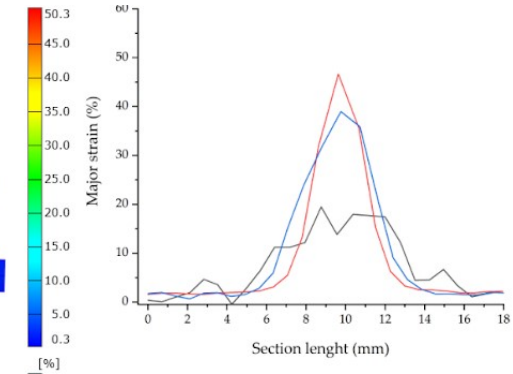
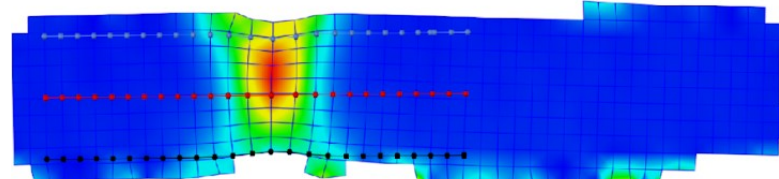


Profilo di durezza as weld

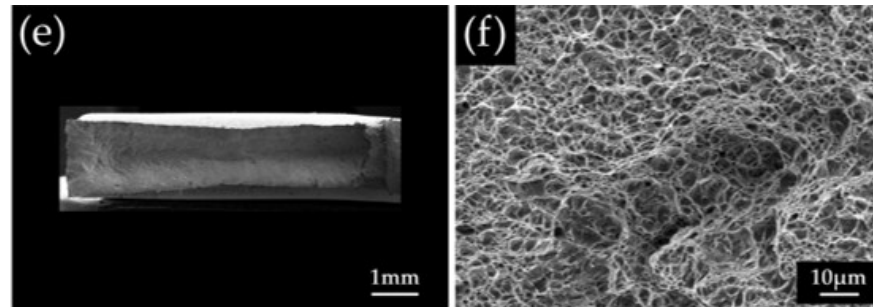


Profilo di durezza post-austempering

UTS (MPa)	YIELD STRESS (MPa)	RA (%)
1292 ± 10	803 ± 6	47



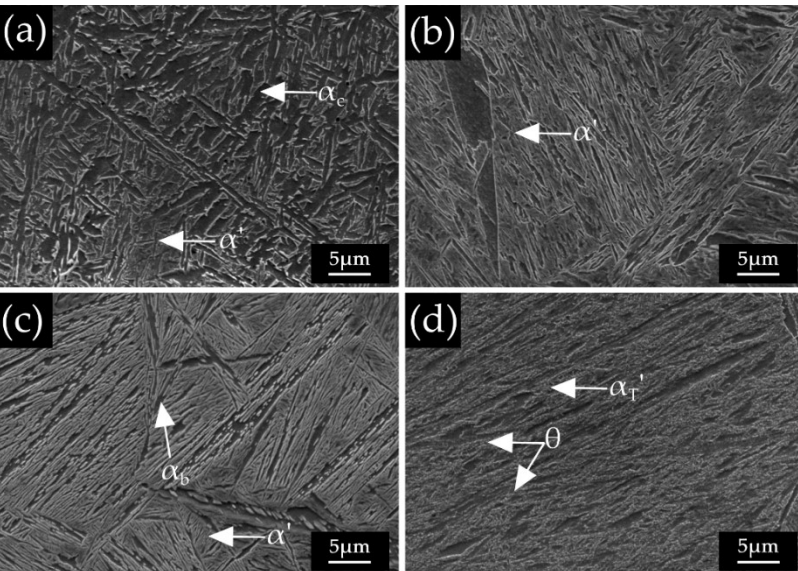
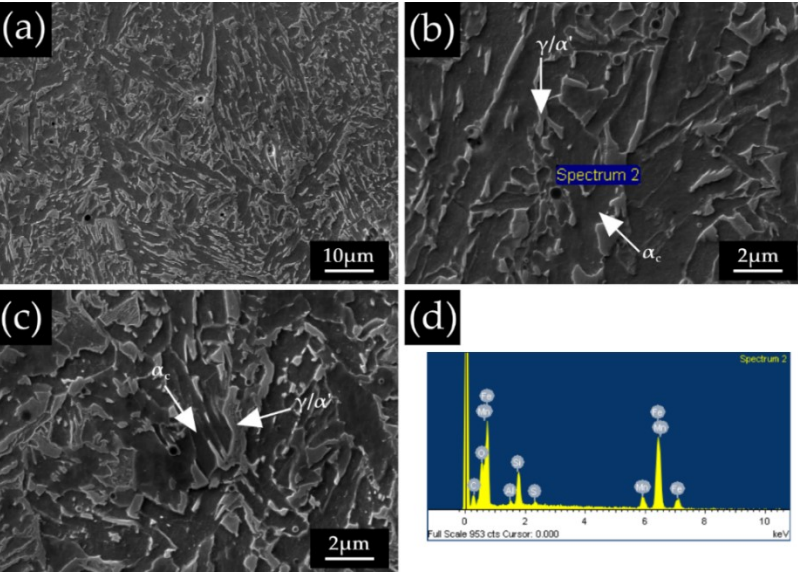
Prove di trazione (ARAMIS)  
post-austempering



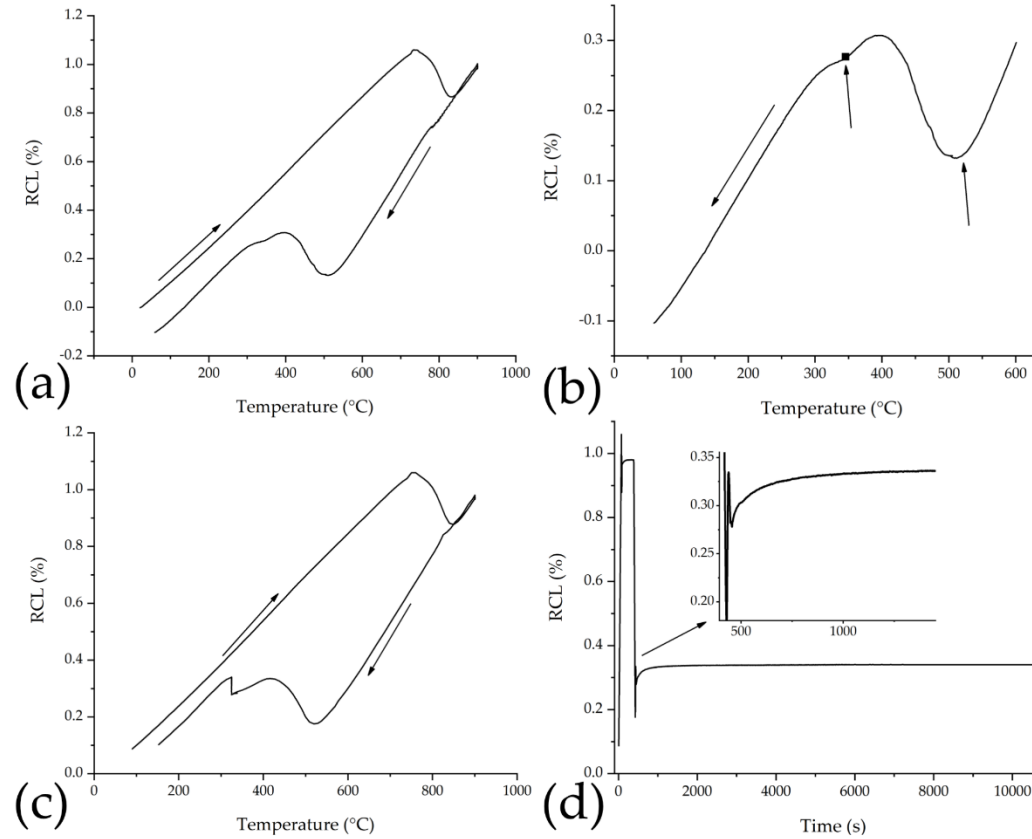
Frattografia (post-austempering)

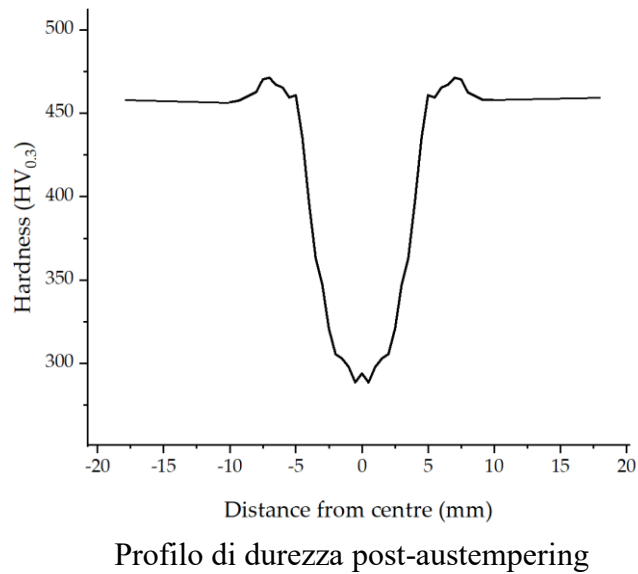
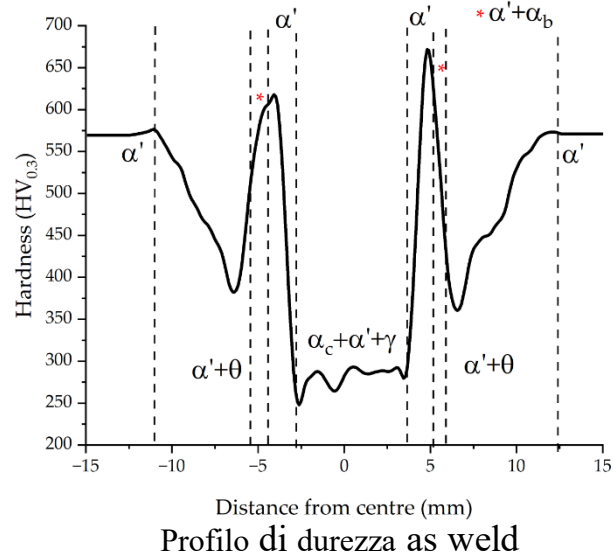


Micrografie al SEM as weld (cordone sopra, HAZ sotto)



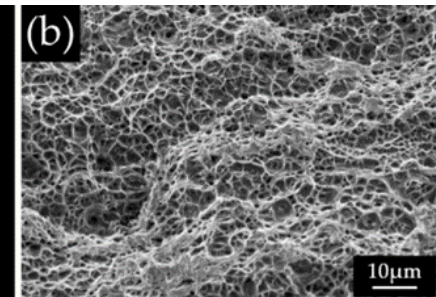
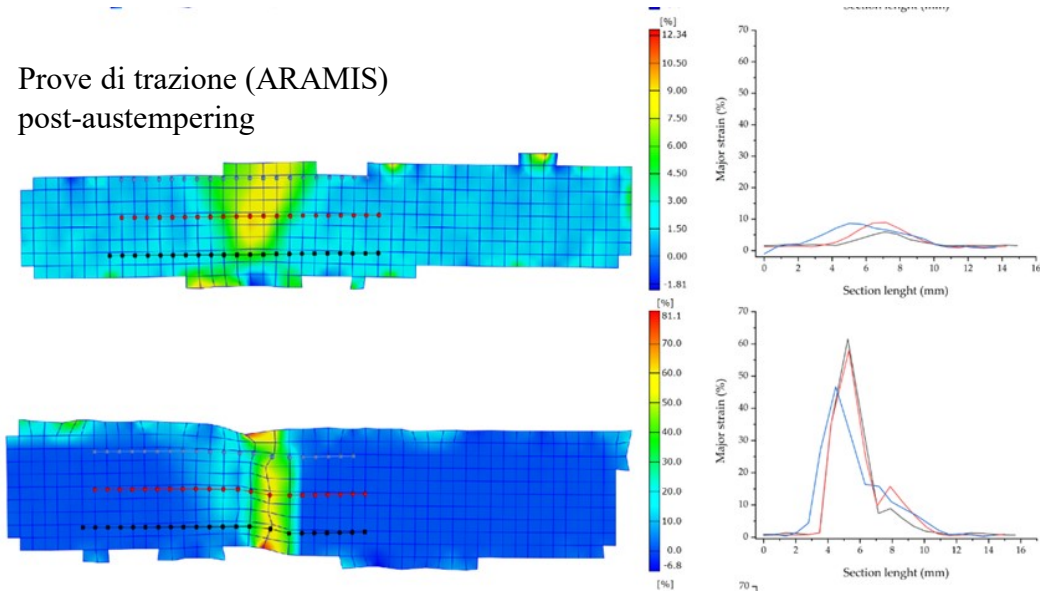
Ac1 (°C)	Ac3 (°C)	Ms (°C)
735	861	521





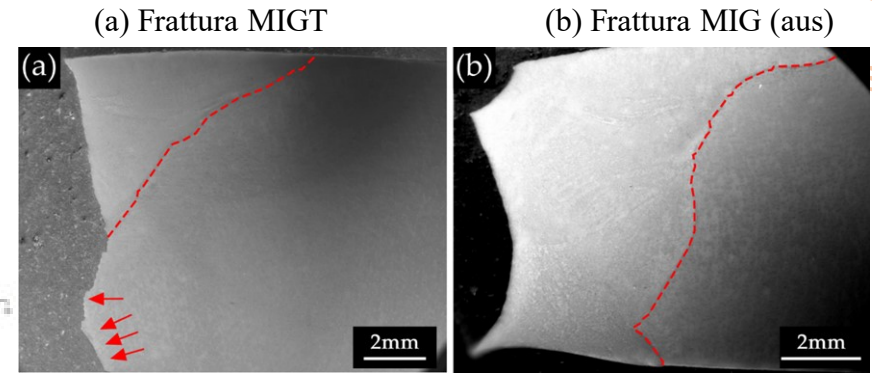
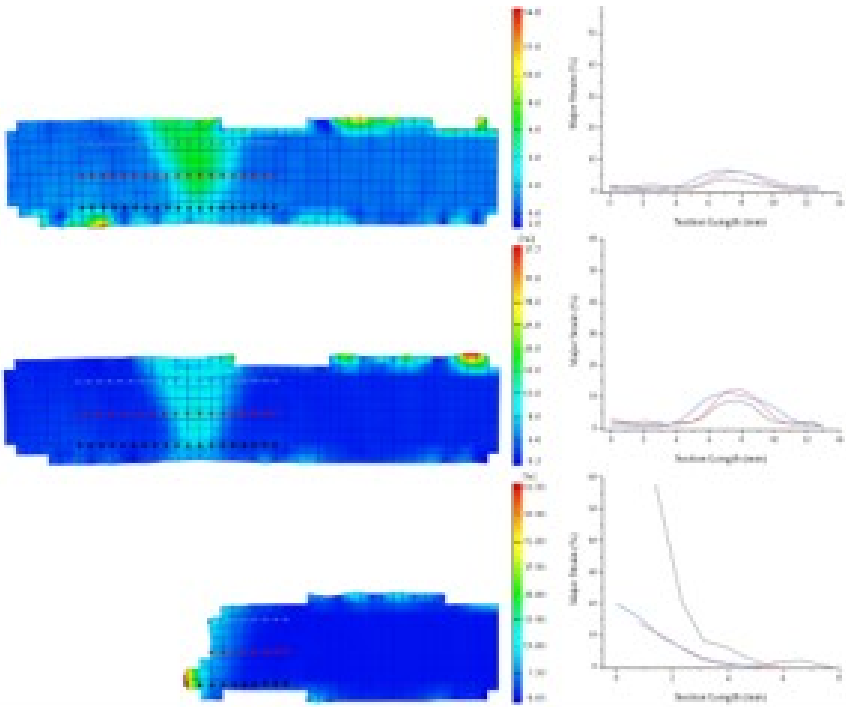
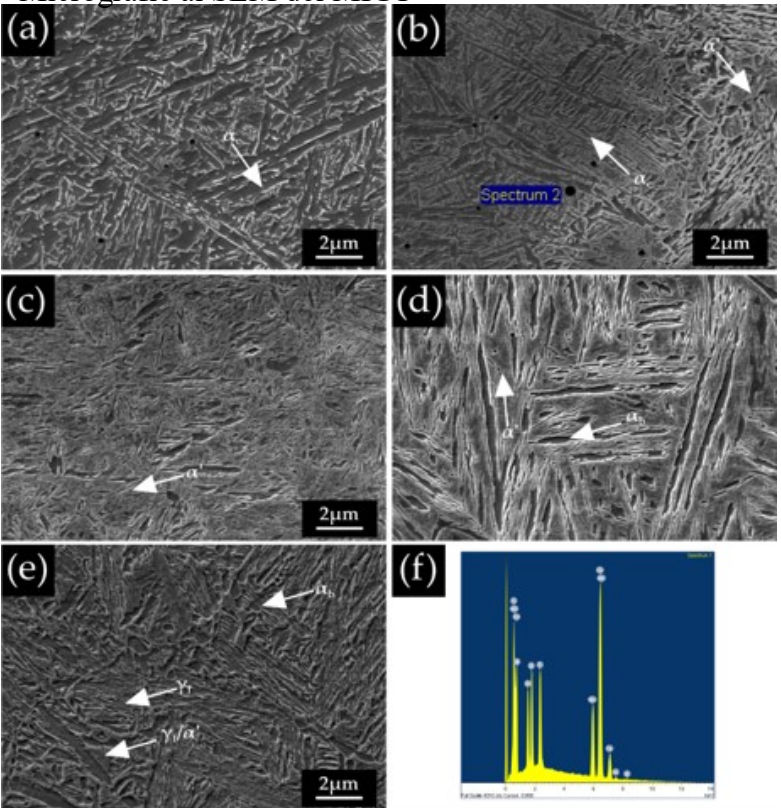
UTS (MPa)	YIELD STRESS (MPa)	RA (%)
1014.7±2	638±5	38

Prove di trazione (ARAMIS)  
post-austempering

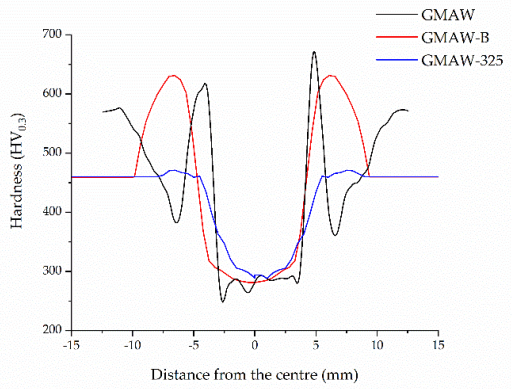
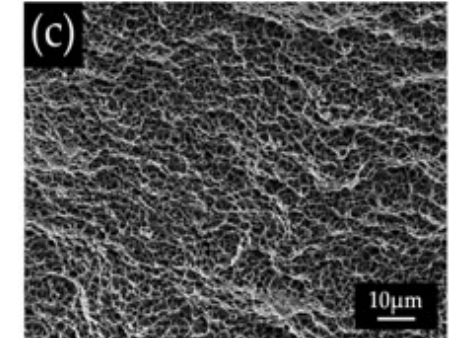
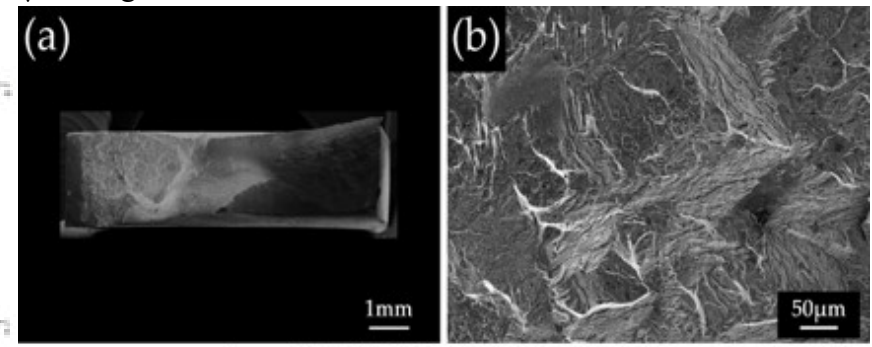




Micrografie al SEM del MIGT



↓ Frattografia MIGT



← Confronto delle durezza  
fra MIG as weld, MIGT e  
MIG austempered

Si sono studiati i giunti di acciaio bainitico a medio contenuto di carbonio e alto contenuto di silicio saldati con tecniche TIG e MIG.

Le conclusioni che si possono trarre sono le seguenti:

- Le saldature presentano **tre diverse macro-zone (FZ, ZTA e MB)** e la zona termicamente alterata è a sua volta suddivisa in altre sotto-regioni che sono caratterizzate dalle seguenti microstrutture: **martensite, austenite residua e bainite, martensite rinvenuta.**
- Il trattamento termico dell'**austempering** porta alla formazione di martensite nel cordone prima che si formi bainite. La trasformazione martensitica va ad accelerare quella bainitica.
- Dalle prove di trazione risulta che le saldature raggiungono **valori elevati di UTS**, oltre i 1000 Mpa, pertanto **resistenza e ragionevole duttilità.**
- Dall'analisi della distribuzione della **deformazione** si è osservata che essa è concentrata prevalentemente **sul cordone**, data la minore resistenza meccanica del consumabile, dove avviene la **frattura.**
- Dalla caratterizzazione del giunto saldato partendo da microstruttura bainitica senza realizzare un trattamento termico post saldatura si osserva un **comportamento fragile**, con frattura che avviene a piede cordone, caratterizzata da una **microstruttura martensitica.** Da qui emerge la necessità dello sviluppo di nuovi consumabili / metodi di saldatura per acciai bainitici.

## SALDATURA CON CONSUMABILE A MEDIO TENORE DI CARBONIO

MATERIALE BASE: ACCIAIO BAINITICO AISI 4130

C %	Si %	Al %	Mn %	Fe %	Others %
0.38	3.2	0.1	2.56	93.52	<0.5

MATERIALE DI RIEMPIMENTO MIG 4130 (diametro di 0.9 mm)

C %	Si %	Mo %	Mn %	Cr %	Fe %
0.30	0.20	0.20	0.50	0.95	Resto

► Composizione gas inerte usato insieme al filo di riempimento (**M13**): 98% Ar, 2% O<sub>2</sub>

MATERIALE DI RIEMPIMENTO TIG 4130 (diametro di 1.6 mm)

C %	Si %	Mo %	Mn %	Cr %	Fe %
0.30	0.20	0.20	0.50	0.95	Resto

► Composizione gas inerte usato insieme al filo di riempimento (**I1**): 100% Ar

## PARAMETRI dei PROCESSI di SALDATURA

	MIG	TIG
<b>Materiale Base</b>	Acciaio bainitico	Acciaio bainitico
<b>Geometria giunto</b>	Butt weld – V groove	Butt weld – V groove
<b>Preriscaldamento</b>	200 °C	200 °C
<b>PWHT</b>	/	/
<b>Numero passate</b>	4	11+R
<b>Posizione</b>	EN ISO 6947: PA	EN ISO 6947: PA
<b>Materiale d'apporto</b>	AISI 4130	AISI 4130
<b>Materiale d'apporto – diametro</b>	0.9 mm	1.6 mm
<b>Gas di protezione</b>	EN ISO 14175: M13	EN ISO 14175: I1
<b>Corrente di saldatura</b>	184 A	190 A
<b>Tensione di saldatura</b>	25 V	15 V
<b>Velocità di saldatura</b>	44 cm/min	17 cm/min
<b>Apporto termico</b>	0.70 kJ/cm	0.95 kJ/cm
<b>Temperatura di interpass</b>	240 °C	260 °C



## SALDATURA TIG 4130 AS WELD



Foto allo stereo del cordone

← Liquidi penetranti →

## SALDATURA MIG 4130 AS WELD

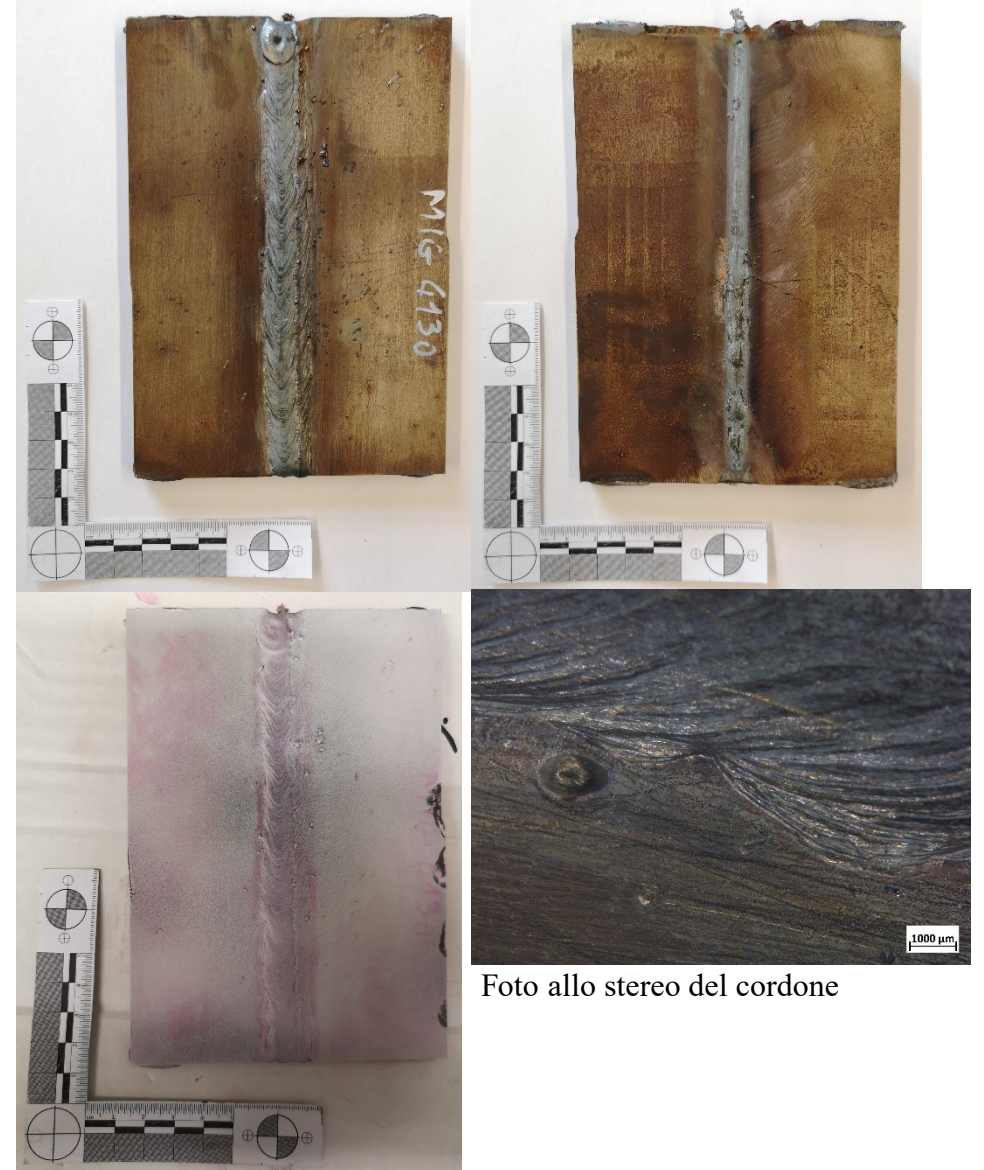


Foto allo stereo del cordone



# CARATTERIZZAZIONE

- Microscopio ottico
- SEM (*Scanning Electron Microscope*)
- Durezza (Vickers, peso 300g)
- Diffratometro XRD per le tensioni residue

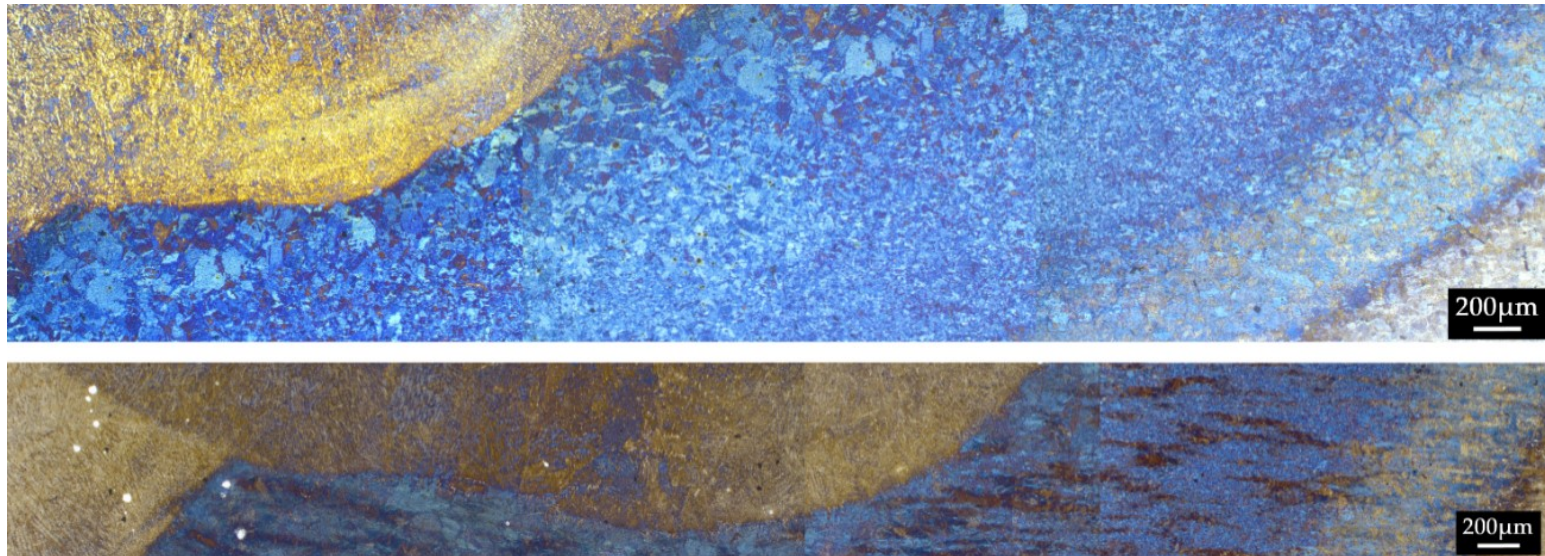
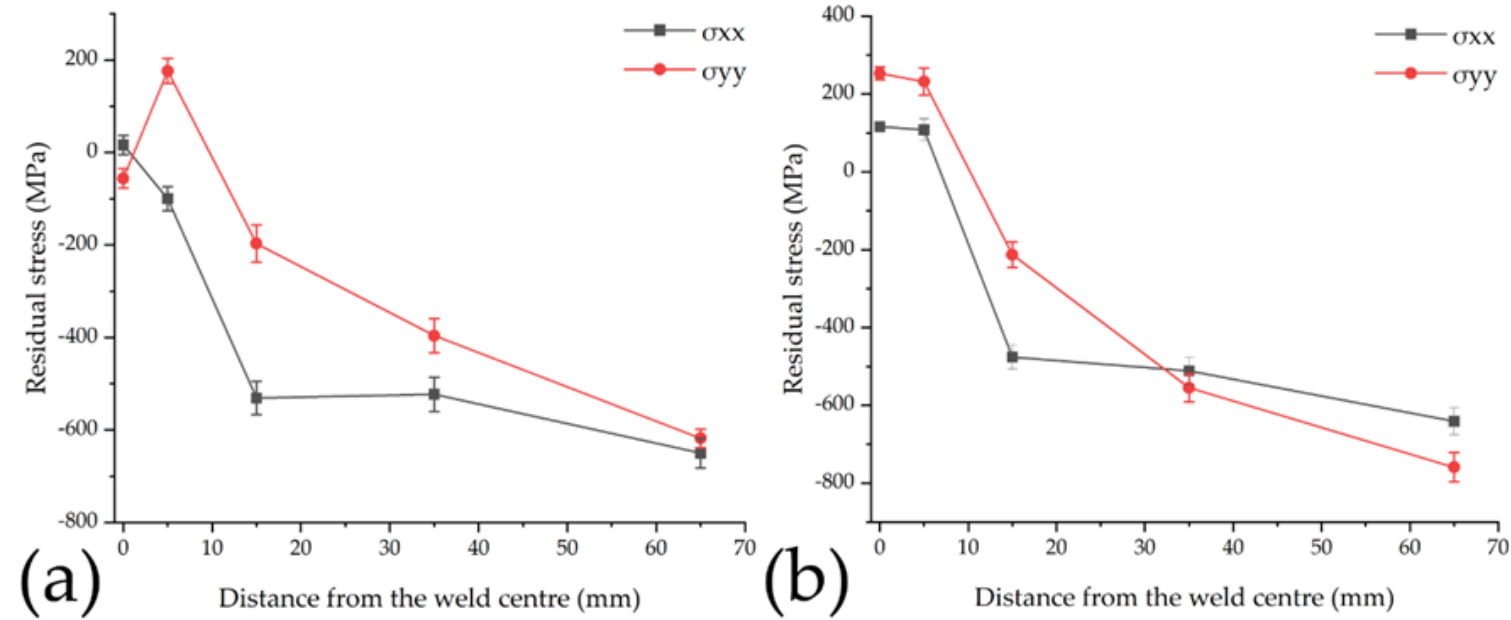
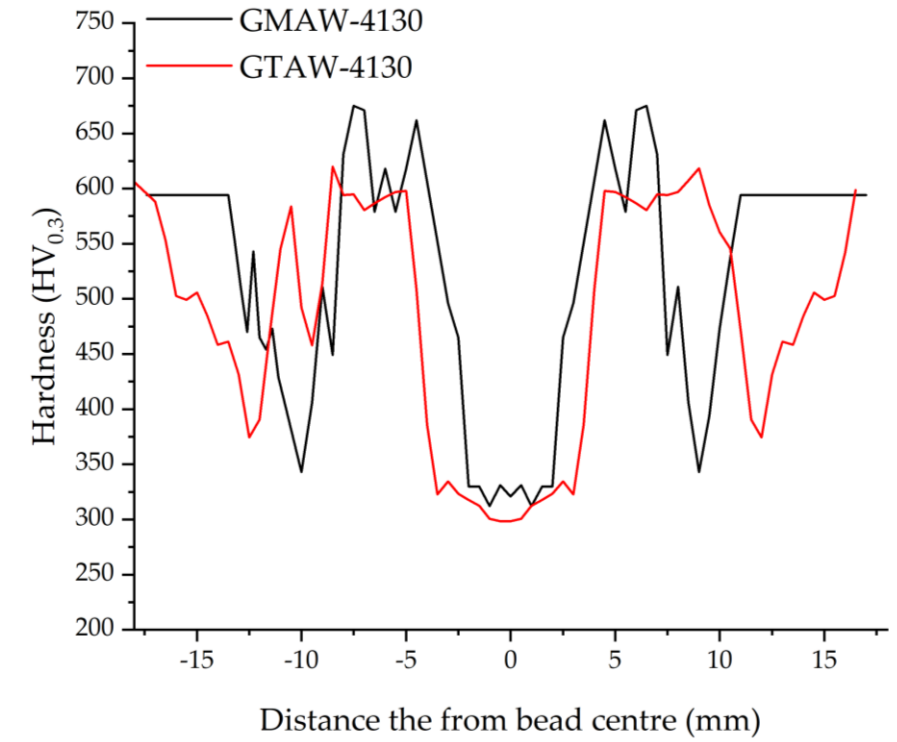


Foto al microscopio ottico di campioni MIG 4130 e TIG 4130 con attacco colorato (Klemm'I)

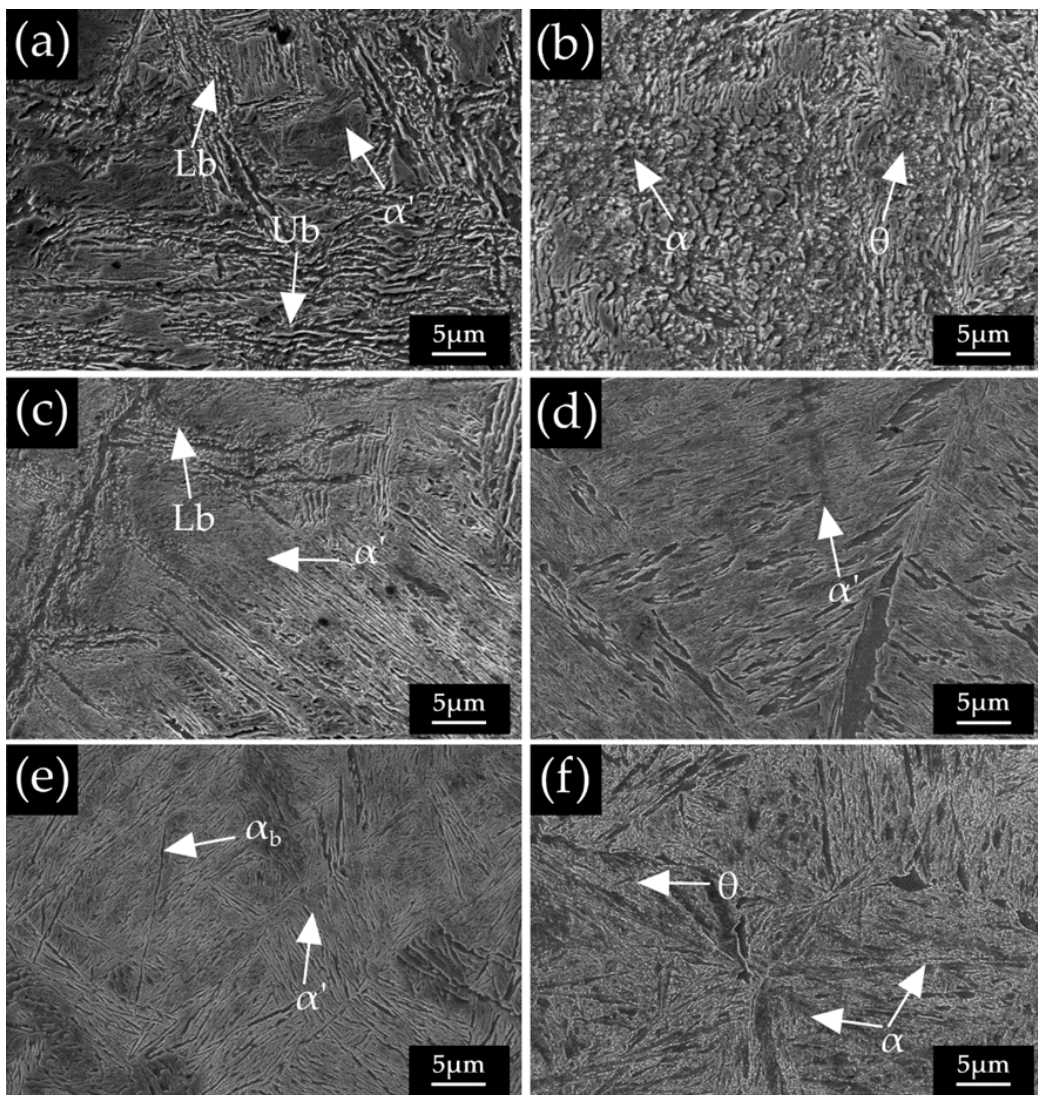


Stress residui di MIG 4130 (a) e TIG 4130 (b)

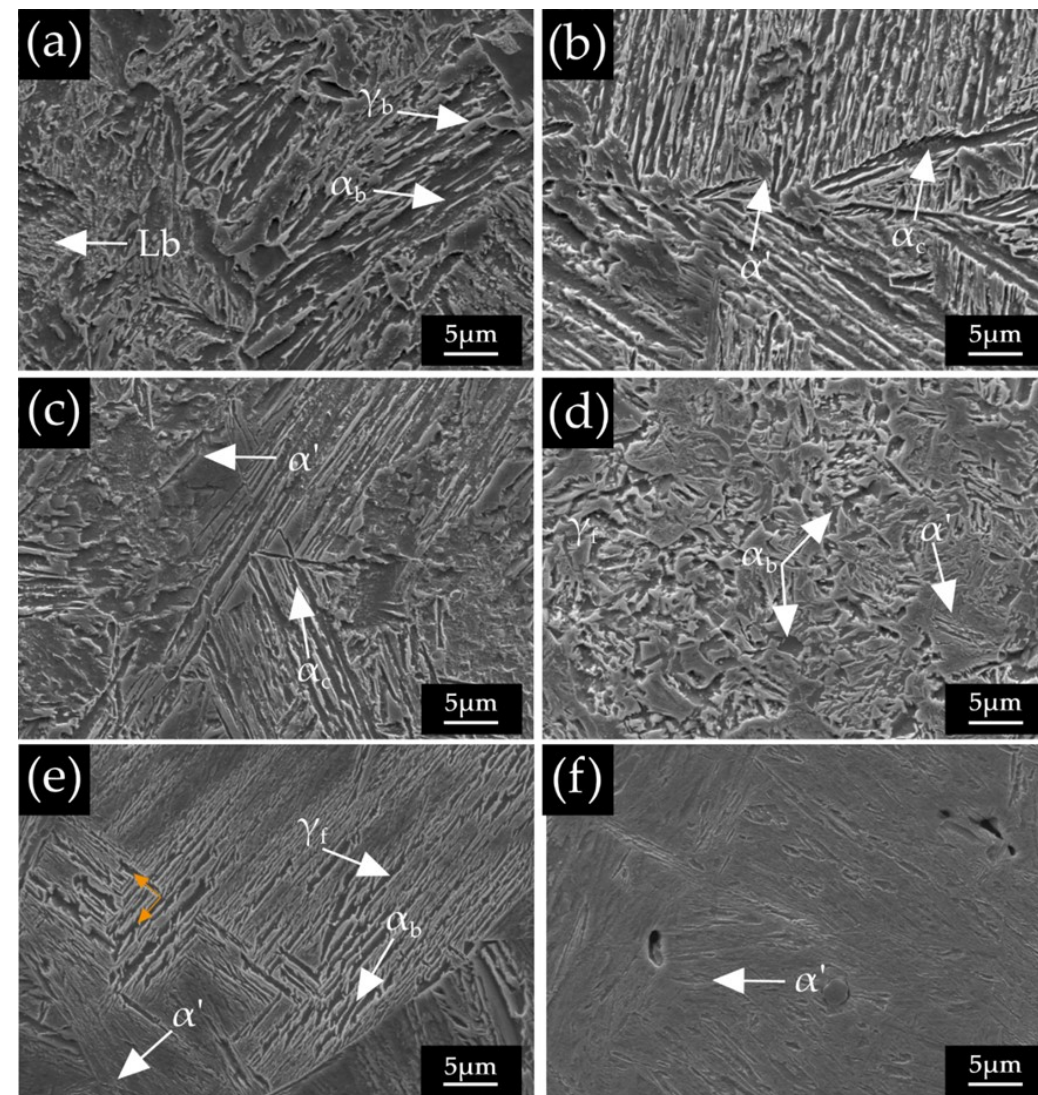


Confronto delle durezze fra MIG e TIG 4130





Micrografie al SEM del MIG 4130



Micrografie al SEM del TIG 4130

Alla fine di questa seconda parte sulla saldabilità dell'acciaio AISI 4130 si sono tratte le seguenti conclusioni:

- **Non** si sono osservati **fenomeni di cricatura a caldo e a freddo** che limitano la saldabilità.
- Il processo di saldatura introduce **tensioni residue** di trazione in corrispondenza del **cordone** di saldatura che non compromettono l'integrità del giunto saldato.
- L'utilizzo **M13** come gas di protezione rispetto all'M21 utilizzato nei test precedenti, garantisce **l'assenza di scoria** sul cordone di saldatura ottenuto tramite MIG.
- Nel giunto as-weld nella zona fusa è possibile osservare una microstruttura costituita da **bainite superiore e inferiore, ferrite aciculare e martensite**.



*Grazie per l'attenzione!*