

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

***PROVE DISTRUTTIVE PER LA QUALIFICA DEL
METODO DI SALDATURA SU UN GIUNTO
TESTA A TESTA IN ACCIAIO AL CARBONIO***

Tutor universitario: Prof. Luca Pezzato

Co-tutor: Ing. Michele Baldan

Laureando: Tommaso Balduino

Padova, 12/03/2024

Il lavoro presentato è frutto del periodo di tirocinio che ho potuto svolgere presso i laboratori di prove meccaniche dell'azienda CTR di Limena (PD).

L'azienda opera nel settore di controllo qualità, lavorando in ambiti differenti con vari laboratori:

- **Laboratori Chimici:** campionamenti ed analisi di terreni, acque e della qualità dell'aria.
- **Laboratori di metallografia:** con diversi microscopi ottici, e varie apparecchiature per la preparazione dei provini utilizzati per le macrografie e le prove di durezza
- **Laboratori di prove meccaniche:** si effettuano prove di qualifica delle saldature ed ispezioni su leghe sottoposte a trattamenti termici
- **Laboratori per materiali edili:** si effettuano prove di compressione ed analisi di composizione dei calcestruzzi armati (e non), assieme a trazioni e pieghe delle barre di acciaio contenutevi.



www.dii.unipd.it



La qualifica dei processi di saldatura ha come obiettivo garantire che le saldature vengano **eseguite in modo affidabile**, visto il vasto impiego in settori ad alta criticità come l'edilizia, l'aeronautica o i trasporti.

Vengono presentate in dettaglio le prove svolte presso i laboratori dell'azienda CTR di Limena (PD), durante il procedimento di qualifica di un giunto saldato con processo MIG, in **acciaio P265GH**: non legato per contenitori a pressione, tubi o scambiatori.

Durante lo svolgimento di questi test, si fa sempre riferimento alle **normative specifiche** in materia, che vengono fornite dagli enti internazionali di riferimento, quali:

- ISO (International Standard Organization)
- ASTM (American Society for Testing Materials)
- AWS (American Welding Society)



In questo processo il passaggio di corrente dall'elettrodo al materiale da saldare, attraverso un mezzo gassoso, ne causa **la ionizzazione**.

È possibile in questo modo regolare il calore generato da questo processo attraverso la regolazione dei parametri di voltaggio e amperaggio.

Queste saldature sono le più largamente utilizzate, sia per la semplicità delle apparecchiature richieste, che per diversi motivi pratici, tra cui:

- **VERSATILITÀ:** impiegabile su diversi metalli
- **ADATTABILITÀ:** eseguibile in diverse posizioni
- **CONTROLLO:** voltaggio e velocità di deposito
- **EFFICIENZA ENERGETICA:** generalmente maggiore rispetto ai classici procedimenti di saldatura a cannello ossiacetilenico



Il procedimento di qualifica è suddiviso in diversi step, al fine di poter analizzare al meglio le caratteristiche del giunto saldato:

- **NDT:** test non distruttivi per individuare difetti interni o non facilmente individuabili
- **Macrografie:** per analizzare la difettologia di alcune sezioni del campione di saldatura
- **Micrografie:** qualora vi fosse da verificare la microstruttura presente nella zona saldata
- **DT:** test distruttivi che permettono di analizzare le proprietà meccaniche della saldatura

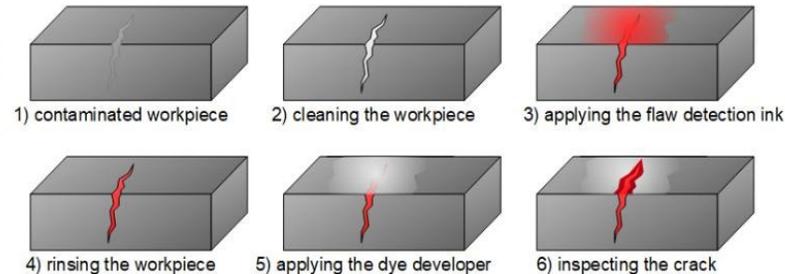


Questi test sono essenziali in questo processo per poter identificare difetti e garantire la conformità agli standard di qualità e sicurezza, senza danneggiare il giunto in modo permanente.

I test non distruttivi devono essere eseguiti da tecnici specializzati e certificati, ed includono generalmente diversi metodi, tra cui:

- Test Visivo
- Liquidi Penetranti
- Ultrasuoni
- Radiografie

Dye Penetrant Testing



TEST REPORT

PENETRANT TESTING *		Pag	9 of 9
General infos			
Test start - Test finish	20/11/2023 - 20/11/2023		
MIF reference (Lab)	11024		
Client reference	YYY		
Identification of specimen (Lab)	024 NP 1		
Material	Gr. 1.2		
Position	WM		
Doc. reference	UNI EN ISO 3452-1	acc.	UNI EN ISO 23277 lev.2
Test parameters			
Temperature	22°C		
Production status	PWHT N.A.		
Examination method	Visible contrast color		
Light	Natural Light(> =1000Lux)		
Surface condition	As welded		
Extent of inspection	100%		
Penetrating application	Spraying		
Penetrating min time	15 min.		
Cleaning	Water		
Drying	Air		
Developer application	Spraying		
Max checking time	10' ÷ 30'		

Examination product

Product	Type	Manufacturer	Designation	Serial number	Expiration date
Pulitore / Cleaner	Bio. Remover solvente BC1 cl.2	NDT ITALIANA	-	B22512s	06/2026
Penetrante / Penetrant	Penetrant Rosso K71B2p tp.2 (Tipo/Type II)	NDT ITALIANA	(Tipo/Type II)	220112ps	02/2026
Rimozione penetrante / Removing penetrant	Acqua	-	-	-	-
Sviluppatore / Developer	Bio. Developer sviluppatore D112A	NDT ITALIANA	(forma/ format e)	220616W150s	06/2026

Result

NO INDICATIONS ARE OBSERVED

Compliant sample according to UNI EN ISO 23277: 2015 level 2X

Per poter analizzare i provini, è necessario levigare e sottoporre ad attacco acido la superficie da esaminare, di modo da rendere visibile il margine tra le zone della saldatura (Zona Fusa, Zona Termicamente Alterata e Metallo Base).

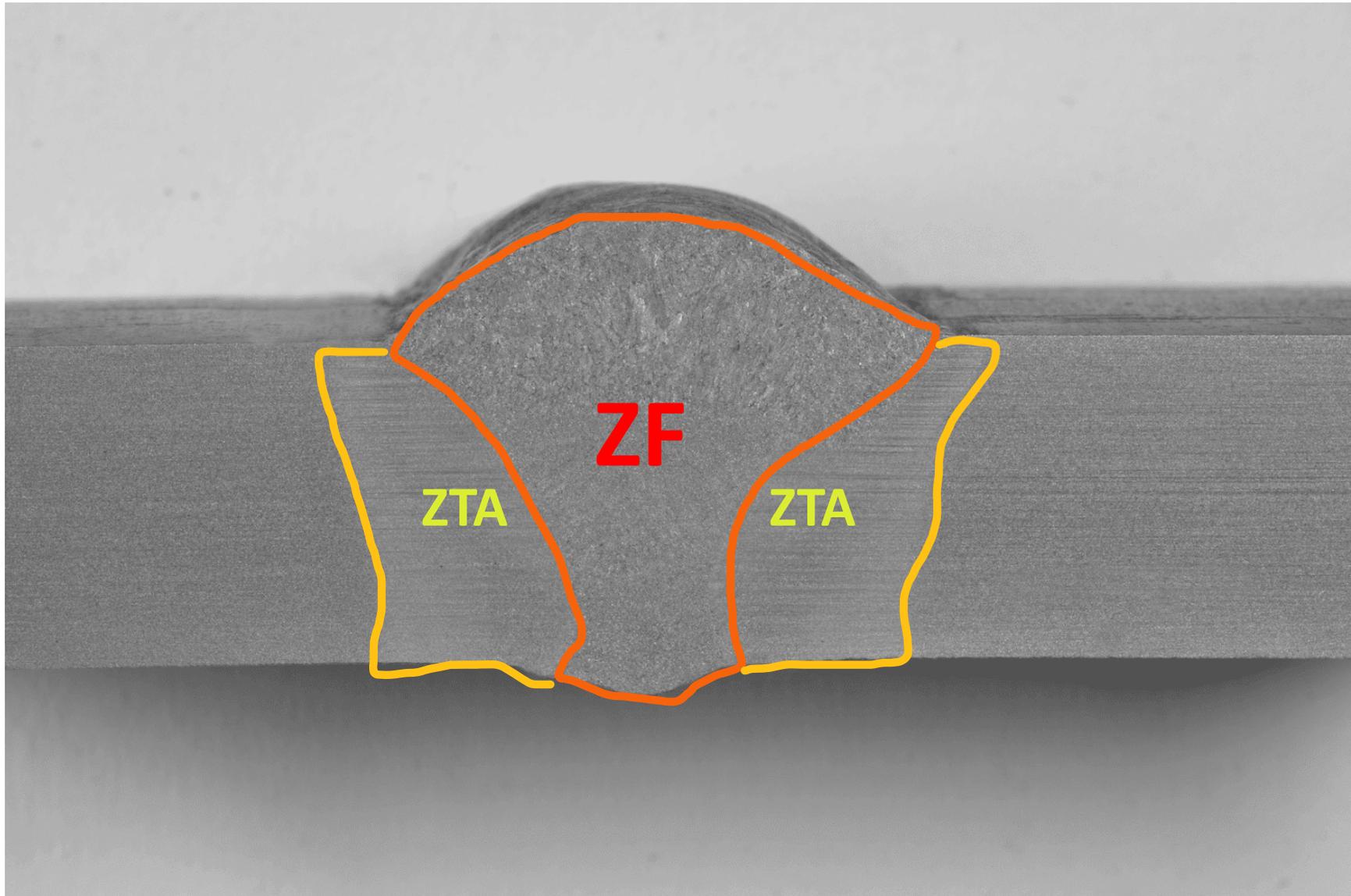
Queste immagini vengono realizzate con fotocamere ad alta risoluzione o con microscopi ottici. Grazie alla macrografia si possono carpire varie informazioni, tra le più importanti vi sono:

- Valutazione della penetrazione e della forma del cordone di saldatura
- Individuazione di difetti superficiali
- Analisi della struttura della ZTA

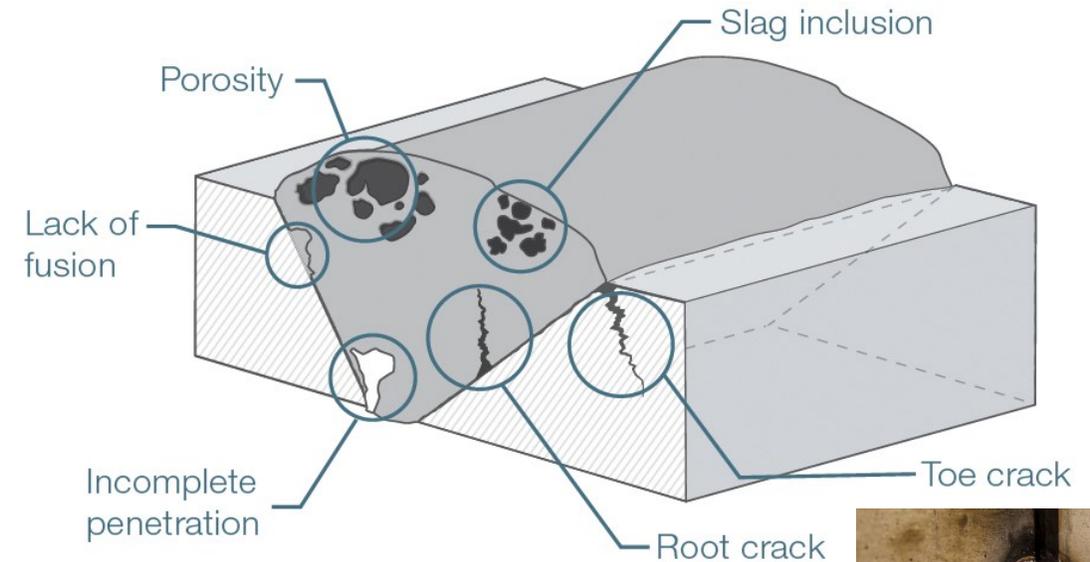


TEST REPORT

PHOTO MACRO	
General infos	
Test start - Test finish	28/11/2023 - 28/11/2023
MIF reference (Lab)	11024
Client reference	YYY
Identification of specimen (Lab)	024 MC 1
Material	Gr. 1.2
Position	T WM
Test standard	UNI EN ISO 17639:2022
Equipments	
(Inv.N°17) Polisher - (Inv.N°1468) PHOTOCAMERA	
Test properties	
Etching Nital 10%	



- **Porosità:** a causa di gas intrappolati durante il processo di saldatura si formano piccole cavità all'interno del materiale saldato.
- **Inclusioni di scoria:** Particelle di scoria o materiale estraneo intrappolato nel metallo fuso durante il processo di saldatura.
- **Cricche:** si formano in ZF o in ZTA, dovute a tensioni residue, raffreddamento rapido o difetti nel processo di saldatura.
- **Mancanze di penetrazione:** Quando il metallo fuso non penetra completamente nel giunto, lasciando una lacuna tra i materiali base.
- **Deformazioni:** irregolarità nella forma o nella geometria dei materiali vicino alla zona saldata a causa delle tensioni termiche e meccaniche o di un procedimento non corretto



- Per questo test le normative richiedono che sia riportato solamente il carico massimo raggiunto dal provino (**R_m**)
- Un aspetto fondamentale, oltre al raggiungimento del valore di rottura prestabilito, è che nel provino **la frattura non avvenga nella zona fusa**, che deve essere più resistente del materiale base utilizzato
- In questa prova sono usate macchine per trazione con carichi fino a 1000 kN dotate di estensimetri per poter misurare l'allungamento in corsa



TEST REPORT

TENSILE TEST	
General infos	
Test start - Test finish	13/12/2023 - 13/12/2023
MIF reference (Lab)	11024
Client referenceYYY	
Identification of specimen (Lab)	024 TR 1
Material	Gr. 1.2
Position	T WM
Test standard	EN ISO 4136:2022
Equipments	
(Inv.N°122) UNIVERSAL MACHINE TEST 24100 - (Inv.N°1381) CALIPER	
Specimen informations	
Type	Prismatic
Width (mm)	12.00
Thickness (mm)	8.36
Section (mm ²)	100.32
Test parameters	
Temperature (°C)	RT
Speed of test after the based elastic phase (plastic field) on a speed of separation of the grips	
Speed of test in elastic field based on the gradient of specific load Method B	R=10MpaS ⁻¹

Legend

RT : Room temperature

Results

R_m (MPa) 556.0

Requirement

No Requirement

Note

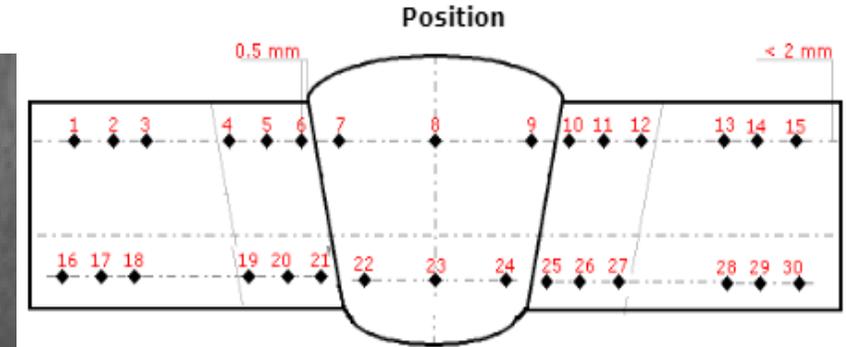
Broken out of weld

- Viene effettuata su un provino uguale a quello utilizzato per la macrografia, anch'esso precedentemente levigato e attaccato con Nital 10%.

- Si posiziona il pezzo sul **durometro** e tramite il software dello strumento vengono selezionati una serie di punti in cui andranno fatte le misure, che devono coprire le **diverse zone** della saldatura.

- Per l'analisi della durezza di acciai al carbonio viene utilizzata la scala **Vickers HV10** (con carico da 10kg) poiché essi non presentano solitamente durezze elevate.

- Come illustrato nei risultati in tabella, anche in questo caso sono stati raggiunti gli standard richiesti



Top		Bottom	
N°	Value HV10	N°	Value HV10
1	184.0	16	185.0
2	187.0	17	187.0
3	186.0	18	186.0
4	164.0	19	199.0
5	182.0	20	206.0
6	204.0	21	199.0
7	182.0	22	181.0
8	186.0	23	182.0
9	184.0	24	182.0
10	213.0	25	196.0
11	184.0	26	202.0
12	165.0	27	182.0
13	183.0	28	183.0
14	188.0	29	188.0
15	186.0	30	187.0

Min 164.0
Max 213.0

Mediante l'utilizzo di una **pressa idraulica**, un'apposita guida ed un **pistone**, viene effettuata la piega controllata dei provini. Questa prova misura la capacità del metallo di **deformarsi in campo plastico** senza riportare fratture o fessurazioni.

Questa prova è sempre richiesta nella qualifica delle saldature, ma caso specifico delle tubazioni in acciaio risulta fondamentale. Questi infatti, se sottoposti a uno sforzo meccanico, si comportano **in modo diverso** a seconda della direzione dello sforzo.

I primi campioni sottoposti alla piega non hanno soddisfatto i requisiti, presentando diverse cricche e fessurazioni. È stato necessario effettuare una riprova della commessa che ha dato infine esito positivo.



Test parameters

Jig (mm)	32
Rollers distance (mm)	56
Angle (°)	180
Method	FORMER

Results

Ref.Lab.	(°C)	Type	Position	Dimensions (mm)	LU (mm)	Elongation (%)	Results
024 PI 1	RT	TFBB (Transverse face bend)	Face Bend	16,4 x 8,3	-	-	Acceptable
024 PI 2	RT	TFBB (Transverse face bend)	Face Bend	16,4 x 8,3	-	-	Acceptable
024 PI 3	RT	TRBB (Transverse root bend)	Root Bend	16,4 x 8,3	-	-	Acceptable
024 PI 4	RT	TRBB (Transverse root bend)	Root Bend	16,4 x 8,3	-	-	Acceptable

Legend

RT : Room temperature

Requirement

ISO 5173-23

- Viene testata la resistenza all'impatto con un **pendolo di Charpy**
- Secondo le disposizioni delle normative indicate nel report, che per gli acciai al carbonio di questa tipologia prevedono che il test sia effettuato a **-20°C**.
- I provini realizzati per questa prova vengono dunque immersi in alcol e portati a temperatura utilizzando ghiaccio secco.
- I risultati ottenuti da questa prova garantiscono che la frattura non sia completamente fragile, anche a queste temperature, poiché sono stati soddisfatti gli standard richiesti.



TEST REPORT

CHARPY IMPACT TEST				Pag	5 of 9		
General infos							
Test start - Test finish 29/11/2023 - 29/11/2023							
MIF reference (Lab)				11024			
Client referenceYYY							
Material				Gr. 1.2			
Test standard UNI EN ISO 148-1:2016 + UNI EN ISO 9016:2022							
Equipments							
(Inv.N°1151) CHARPY IMPACT (ISO) - (Inv.N°1381) CALIPER - (Inv.N°1475) DIGITAL THERMOMETER							
Specimen informations							
Notch KV2							
Results							
Lab Id.	T (°C)	Position	Dimensions (mm)	A	B	C	Average
				Value (J)	Value (J)	Value (J)	Value (J)
024 RE 1	-20	VWT 0/1	10.0 × 10.0	87.0	62.0	95.0	81.3
024 RE 2	-20	VHT 1.5/1	10.0 × 10.0	162.0	71.0	61.0	98.0
Requirement							
No Requirement							

La collaborazione con il personale dei laboratori CTR S.r.l. mi ha permesso di acquisire una visione pratica e approfondita delle sfide e delle opportunità connesse al settore delle certificazioni e del controllo qualità.

Ho potuto constatare direttamente l'importanza di procedure di qualifica rigorose per garantire la qualità e l'affidabilità delle giunzioni saldate, nonché per garantire il rispetto dei severi standard richiesti.

Sono convinto che le conoscenze acquisite durante questa esperienza mi potranno essere d'aiuto, in quanto essenziali per lo sviluppo futuro delle tecnologie di saldatura e per assicurare che le pratiche industriali siano sempre all'altezza delle aspettative in termini di qualità e prestazioni.

Grazie a tutti dell'attenzione