

INDAGINI IN SITO E PROVE DI LABORATORIO SU STRUTTURE METALLICHE

Quaderno tecnico per Progettisti, Collaudatori e Direttori dei Lavori

Indice

Presentazione.....	2
1. Controlli non distruttivi sulle saldature	4
1.1 Qualifica del personale addetto ai Controlli non Distruttivi	4
1.2 Esame visivo (VT)	5
1.3 Esame con particelle magnetiche (MT)	6
1.4 Esame con liquidi penetranti (PT)	8
1.5 Esame ultrasonoro (UT)	10
1.6 Esame radiografico (RT)	11
1.7 Difetti nelle saldature.....	12
1.8 Considerazioni sui controlli saldature	16
1.9 Compiti del Direttore dei Lavori nel processo di saldatura – NTC e EN 1090-1	17
2. Prove sugli elementi di carpenteria in sito	20
2.1 Misure di durezza con durometri portatili	20
2.2 Misure di spessore con ultrasuoni.....	21
2.3 Controlli sulle verniciature (misure di spessore, test di aderenza)	22
2.4 Analisi chimiche con analizzatore portatile XRF.....	23
2.5 Video-endoscopie e controlli visivi remotizzati.....	24
3. Prove sugli elementi di carpenteria in laboratorio	25
3.1 Prova di trazione	25
3.2 Misure di durezza.....	25
3.3 Prova di resilienza.....	26
3.4 Metallografia	26
3.5 Controlli su elementi di carpenteria secondo NTC.....	28
4. Casi reali di indagini su strutture metalliche	29
4.1 Palo porta antenne	29
4.2 Struttura vano ascensore in acciaio	31
4.3 Paratoia metallica	33
4.4 Ponte a cassone in acciaio.....	36
5. Bibliografia.....	39
CENTRI 4 EMME ITALIA	41

Presentazione

Con questo Quaderno la 4 EMME Service Spa inaugura una serie di pubblicazioni tecniche che si propongono di diventare un punto di riferimento per i progettisti, i direttori dei lavori, i collaudatori e, in generale, per quanti intendono avvalersi delle indagini in sito od in laboratorio per verificare la qualità dei prodotti e delle strutture edilizie civili ed industriali.

Il Quaderno Numero 1 copre il settore delle costruzioni in acciaio e descrive tecniche, procedure e strumentazioni per un controllo efficace della qualità di materiali, componenti e strutture.

In modo analogo i prossimi Quaderni della collana tratteranno delle costruzioni in calcestruzzo, in legno e in muratura. Si completerà così, con adeguati approfondimenti, il contenuto del volume "Prove in Sito", edito da 4 EMME Service Spa nel 2012.

La forma scelta è volutamente sintetica, quasi manualistica e si rivolge ai professionisti che intendono applicare consapevolmente le tecniche d'indagine nella loro attività di diagnostica e di valutazione strutturale.

Va sottolineato che l'attività d'indagine viene spesso affidata a società di servizi o laboratori accreditati. È quindi indispensabile che il professionista abbia nel proprio bagaglio culturale la conoscenza precisa delle possibilità offerte dalle attuali strumentazioni e delle loro modalità operative. Ciò gli permetterà di scegliere le indagini più opportune per il caso specifico e di valutare l'affidabilità degli operatori esterni. Inoltre, un buon capitolato tecnico d'indagini, che indichi con precisione le procedure, i livelli qualitativi del personale e delle attrezzature, eviterà dolorose delusioni per risultati poco affidabili.

Questo volume deriva dall'esperienza accumulata dalla 4 EMME Service Spa in oltre trent'anni di esperienza, messa a frutto dal coordinatore di questo quaderno l'ing. *Andrea Cimino* della filiale di Bolzano. A lui ed ai suoi colleghi, esperti di indagini sugli acciai, va il mio personale ringraziamento.

A chi ci legge auguro di mettere a frutto fattivamente quanto descritto ricordando, banalmente, che prima della terapia, risanamento, consolidamento, viene la diagnosi.

Buona lettura.

Ing. Settimo Martinello

4 Emme Service Spa

La 4 EMME Service Spa è una Società di servizi che opera nel settore della diagnostica strutturale dal 1980.

Svolge un servizio specializzato per interventi di indagine sperimentale finalizzati ad acquisire tutti i parametri ingegneristicamente utili per definire la collaudabilità e la rispondenza qualitativa delle strutture ai requisiti richiesti dalla normativa in vigore.

L'azienda ha un organico di oltre 100 operatori specializzati in diverse discipline e opera prevalentemente in sito attraverso speciali furgoni attrezzati per tutte le attività di indagine su materiali o strutture.

Diverse filiali, completamente autonome dal punto di vista tecnico, permettono di operare rapidamente su tutto il territorio nazionale.

I suoi due Laboratori Autorizzati, di Milano e Bolzano, per prove sui materiali da costruzione, assieme al Laboratorio Autorizzato Terre e Rocce, rappresentano un supporto tecnico fondamentale alla completezza delle indagini in sito.

L'esperienza maturata ha permesso di sviluppare, nel proprio centro ricerche di Bolzano, tutta una serie di attrezzature e tecniche di indagine che fanno della 4 EMME il leader del settore delle prove non distruttive.

In questo ambito sono stati prodotti diversi volumi scientifici su temi quali le vibrazioni, le prove sulle murature e sui materiali edili, sulle fondazioni e sugli edifici per l'analisi sismica.

Particolare specializzazione si è sviluppata attraverso il coordinamento per l'edizione del Manuale per la valutazione dello stato dei Ponti, che attraverso il software di gestione "Bridge" rappresenta oggi il riferimento delle amministrazioni nella gestione del patrimonio delle opere d'arte stradali.



280 pagine

www.4emme.it/provesito.htm



290 pagine

www.bridge-online.it

1. Controlli non distruttivi sulle saldature

1.1 Qualifica del personale addetto ai Controlli non Distruttivi

Come previsto dalle NTC e dalle norme del controllo sui giunti saldati il personale che esegue i controlli non distruttivi deve essere certificato secondo la **UNI EN ISO 9712**.

La norma, che sostituisce la UNI EN 473 a cui fanno riferimento le NTC, suddivide il personale in tre livelli e ne definisce le competenze che possono essere così sintetizzate:

- **Livello 1:** esecuzione delle prove non distruttive secondo istruzioni scritte e sotto la supervisione di personale di livello 2 o 3;
- **Livello 2:** selezione della tecnica e del metodo di prova da utilizzare, interpretazione dei risultati e valutazione della rispondenza alle specifiche;
- **Livello 3:** organizzazione del sistema di controlli non distruttivi, stesura delle specifiche e addestramento del personale.

Da questa suddivisione si evince che chi può eseguire un controllo e valutare l'accettabilità di una saldatura deve essere un operatore di almeno livello 2.

Per essere idoneo alla certificazione, il personale addetto ai Controlli non Distruttivi deve essere in possesso dei requisiti di addestramento e di esperienza industriale nei CnD, come previsto dalla Norma di riferimento. Inoltre deve sostenere un esame di qualifica per ogni metodo di controllo al quale intende qualificarsi.

Nelle tabelle seguenti si riportano i requisiti minimi di addestramento ed esperienza industriale per i vari metodi di controllo.

Requisiti minimi di addestramento (Ore di corso teorico e pratico)			
Metodo CnD	Livello 1 [h]	Livello 2 [h]	Livello 3 [h]
Visivo (VT)	16	24	24
Liquidi penetranti (PT)	16	24	24
Particelle magnetiche (MT)	16	24	32
Ultrasuoni (UT)	40	80	40
Radiografia (RT)	40	80	40

Esperienza industriale minima (Mesi di esperienza lavorativa nel settore CnD)			
Metodo CnD	Livello 1 [mesi]	Livello 2 [mesi]	Livello 3 [mesi]
Visivo (VT)	1	3	12
Liquidi penetranti (PT)	1	3	12
Particelle magnetiche (MT)	1	3	12
Ultrasuoni (UT)	3	9	18
Radiografia (RT)	3	9	18

1.2 Esame visivo (VT)

L'esame visivo (VT) di una saldatura permette di rilevare un vasto numero di difetti quali:

- cricche
- corrosioni
- alterazioni di colore dovuti a surriscaldamenti
- erosioni
- deformazioni
- irregolarità della finitura superficiale
- errori di montaggio di sistemi meccanici
- variazioni dimensionali.

Quando la parte da controllare è facilmente accessibile e comunque si trova ad una distanza non superiore a 60 cm, osservabile da una angolazione non inferiore a 30°, l'esame è definito diretto, altrimenti quando dovranno essere usate telecamere, boroscopi o video endoscopi l'esame viene definito remoto.

L'esame visivo, oltre a rivelare i difetti superficiali macroscopici, è fondamentale per stabilire quali siano i metodi strumentali più idonei da applicare e dove applicarli.



Tale esame come definito dal D.M. 14 gennaio 2008 (NTC 2008) va eseguito sul 100% delle saldature e deve essere eseguito da personale qualificato.

Nel controllo non distruttivo con esame visivo (VT) l'interpretazione e la valutazione dei risultati viene effettuata oggettivamente dall'operatore in base a specifici parametri di accettabilità previsti nella norma UNI EN ISO 5817.

La norma prevede 3 livelli di qualità definiti in base alle dimensioni reali dei difetti riscontrabili. I livelli sono così definiti come a seguito.

Livelli di qualità secondo UNI EN ISO 5817	
Simbolo del livello	Livello di qualità
D	moderato
C	medio
B	elevato

Di seguito si riporta un estratto dalla norma UNI EN ISO 5817 dove si evidenziano per alcune imperfezioni le dimensioni massime accettabili dei difetti per i livelli di qualità definiti.

N°	Riferimento alla ISO 6520-1:1998	Designazione dell'imperfezione	Note	t mm	Limiti delle imperfezioni per i livelli di qualità		
					D	C	B
5 Imperfezioni superficiali							
1.1	100	Cricca	-	≥0,5	Non ammessa	Non ammessa	Non ammessa
1.2	104	Cricca di cratere	-	≥0,5	Non ammessa	Non ammessa	Non ammessa
1.3	2017	Poro superficiale	Dimensione massima di un poro singolo per - saldature di testa - saldature d'angolo	da 0,5 a 3	d ≤ 0,3 a d ≤ 0,3 a	Non ammesso	Non ammesso
				>3	d < 0,3 a, ma max. 3 mm d ≤ 0,3 a, ma max. 3 mm	d < 0,2 a, ma max. 2 mm d ≤ 0,2 a, ma max. 2 mm	Non ammesso
1.4	2025	Cavità di cratere terminale		da 0,5 a 3	h ≤ 0,2 t	Non ammessa	Non ammessa
				>3	h ≤ 0,2 t, ma max. 2 mm	h ≤ 0,1 t, ma max. 1 mm	Non ammessa
1.5	401	Manca di fusione (fusione incompleta)	-	≥0,5	Non ammessa	Non ammessa	Non ammessa
		Micromanca di fusione	Rilevabile solo con esame micrografico		Ammessa	Ammessa	Non ammessa
1.6	4021	Penetrazione al vertice incompleta	Solo per saldature di testa da un solo lato	≥0,5	Imperfezioni corte: h < 0,2 t, ma max. 2 mm	Non ammessa	Non ammessa
							

La misurazione dei difetti e la verifica del profilo della sezione dei giunti, con particolare riferimento a quelli d'angolo (altezza di gola), viene rilevata utilizzando opportune sagome e calibri.

L'esame è condotto secondo le direttive della norma UNI EN ISO 17637 che stabilisce le condizioni per l'effettuazione del controllo delle saldature per fusione di materiali metallici. L'illuminazione della zona d'esame è di particolare importanza e viene ottenuta con opportune lampade che permettono una luminosità compresa tra i 150 ed i 600 lux.

Il personale addetto ai controlli non distruttivi con metodo VT viene sottoposto, ogni due anni, ad accurata visita oculistica nel corso della quale viene verificata la capacità visiva (diretta o corretta) e la perfetta capacità di distinguere i colori.



Controllo visivo



Calibro da saldatura

1.3 Esame con particelle magnetiche (MT)

L'esame con particelle magnetiche (MT) consente di rilevare difetti superficiali e subsuperficiali in materiali ferromagnetici.

Il metodo si basa sulla deviazione che le linee del campo magnetico, indotto in un materiale, subiscono in presenza di una discontinuità.

Per evidenziare il difetto è necessario spruzzare sulle superfici magnetizzate delle sospensioni di polveri ferromagnetiche, colorate o fluorescenti. Le particelle si concentreranno allineandosi lungo le linee di flusso del campo magnetico, formando un "profilo" della discontinuità che generalmente ne indica la posizione, la dimensione, la forma e l'estensione.

Importante, per la rilevazione dei difetti, è che questi siano orientati in modo da essere intercettati dalle linee di forza del flusso magnetico indotto. Per tale ragione lo stesso pezzo deve essere, come minimo, magnetizzato in due direzioni fra di loro ortogonali.

Gli strumenti maggiormente utilizzati per magnetizzare il componente da controllare sono il *giogo elettromagnetico* ed i *puntali*.

Il *giogo elettromagnetico* è uno strumento portatile molto versatile per i controlli magnetoscopici e perciò viene utilizzato nel caso di test condotti direttamente in cantiere.

Il giogo è costituito da un avvolgimento a bobina intorno ad un corpo a forma di U in ferro dolce, in pratica si tratta di una elettro-calamita. La forma ad U consente il rapido e facile posizionamento sul particolare da controllare.

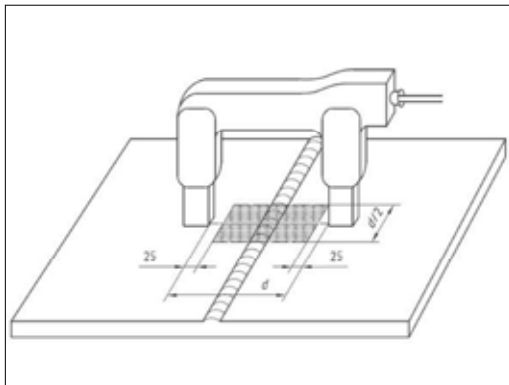
I poli dell'elettromagnete possono essere completamente snodabili, questo consente l'impiego del giogo per il controllo di manufatti aventi forme e dimensioni diverse senza compromettere la sensibilità del metodo.

Il giogo può utilizzare sia corrente alternata che corrente continua. L'intensità del campo magnetico può essere regolata attraverso la corrente.

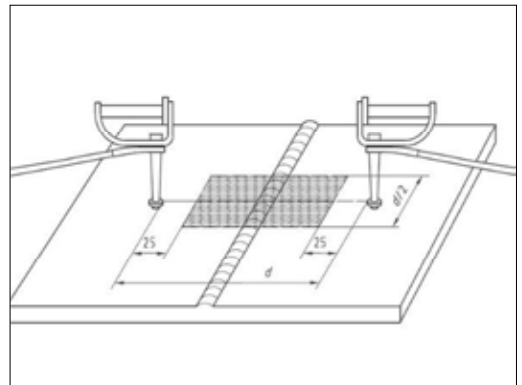
La corrente continua garantisce una maggiore penetrazione mentre la corrente alternata concentra il campo magnetico sulla superficie del pezzo fornendo una buona sensibilità per il rilevamento di discontinuità superficiali in un'area relativamente ristretta.

In generale le discontinuità da rilevare devono essere nell'area centrale, cioè quella compresa tra i due poli del giogo ed orientate perpendicolarmente alla linea immaginaria che congiunge i poli stessi.

Quando si deve analizzare dei materiali di notevoli dimensioni, questi devono essere magnetizzati mediante un *magnetoscopio a puntali*. I puntali servono per garantire il passaggio di corrente, con la conseguente origine di un campo magnetico direttamente attraverso il materiale da testare.



Giogo elettromagnetico



Magnetoscopio a puntali

Il vantaggio rispetto ai liquidi penetranti, che vedremo successivamente, risiede nella capacità di evidenziare anche quelle discontinuità del materiale che si trovano "sottopelle", ovvero localizzate nella zona superficiale ma non aperte in superficie.

Il fondamentale requisito necessario per l'applicazione della tecnica in questione è che il componente sotto osservazione sia costituito da materiale ferromagnetico come: ferro, nichel, cobalto o alcune delle loro leghe.

Se tale condizione non fosse rispettata non sarebbe possibile magnetizzare il materiale ad un determinato livello, ottenendo così risultati ispettivi non affidabili.

Il metodo magnetoscopico è utilizzato, oltre che per le saldature, per testare numerosi prodotti industriali delle più svariate forme, compresi pezzi derivanti da fusione e oggetti fucinati.

La norma di riferimento per l'esecuzione dell'esame è la UNI EN ISO 17638, per i criteri di accettabilità in base alle indicazioni riscontrate si rimanda alla UNI EN ISO 23278.



Controllo magnetoscopico con giogo

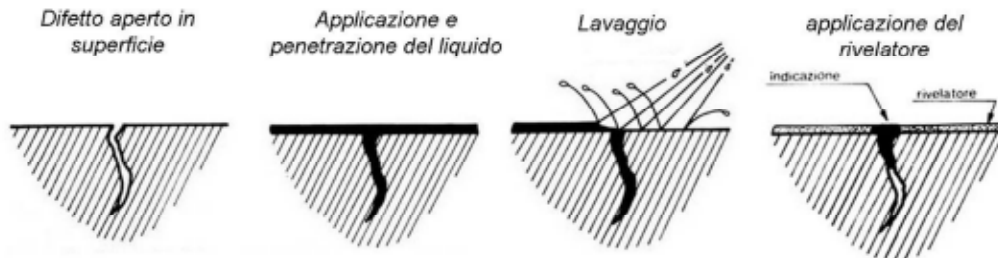


Cricca sul cordone riscontrata con MT

1.4 Esame con liquidi penetranti (PT)

L'ispezione con i liquidi penetranti è adatta per evidenziare e localizzare sul materiale esaminato eventuali discontinuità affioranti in superficie. Questo metodo è ampiamente utilizzato per la ricerca di difetti nelle saldature quali cricche e porosità.

Il principio si basa sulla capacità di questi liquidi di penetrare per capillarità (non per gravità) nelle fessure infinitesimali della superficie di una saldatura o di un semplice elemento metallico. Successivamente il liquido viene richiamato in superficie mediante apposite polveri (rivelatore), lasciando una traccia visibile dell'estensione e della forma del difetto.



Fasi del controllo con liquidi penetranti

La scelta dei materiali da impiegare per l'esecuzione di un controllo con liquidi penetranti non avviene a priori, ma solo dopo la valutazione di una serie di fattori. Questo perché esiste una grande varietà di penetranti e sviluppatore, ciascuno dei quali è maggiormente indicato per specifiche applicazioni.

In generale, le variabili da tenere in considerazione riguardano:

- la sensibilità richiesta
- il tipo di materiale
- l'estensione della superficie da controllare
- il numero dei componenti da testare.

Quando il requisito più importante del controllo è la sensibilità, la prima decisione che viene presa è di usare un penetrante fluorescente.

Generalmente, i liquidi penetranti fluorescenti permettono di individuare difetti più piccoli perché l'occhio è particolarmente sensibile a tali indicazioni. L'ispezione con questo tipo di prodotti viene effettuata in un'area oscurata e la superficie viene illuminata per mezzo di una lampada di Wood.

Quando l'esame è volto all'individuazione di difetti relativamente grandi e la finitura della superficie da analizzare non è elevata, come capita spesso nel controllo di giunti saldati, i penetranti visibili sono più adatti di quelli fluorescenti.

L'interpretazione dei risultati va eseguita da personale esperto in quanto ogni indicazione rilevata non significa necessariamente l'esistenza di un difetto. Esistono infatti delle indicazioni "false" o "non rilevanti" dipendenti da una non accurata preparazione superficiale preliminare, da una scorretta manipolazione dei pezzi prima dell'osservazione o dalla geometria del particolare (gole con fondo a spigolo vivo, fondi filetto, eccessiva rugosità superficiale ecc.).

Uno dei vantaggi del controllo non distruttivo con liquidi penetranti è la possibilità di essere applicato nella verifica della saldatura di qualsiasi componente, indipendentemente dalla forma o dal materiale.

E' importante sottolineare l'aspetto della preparazione e della pulizia della parte di saldatura da analizzare. La difficoltà si presenta a fronte di saldature verniciate dove è necessario procedere preliminarmente con una sabbiatura o spazzolatura meccanica. Questa operazione tende a mascherare le fessure limitando la capacità penetrativa dei liquidi. Sono quindi da impiegarsi speciali abrasivi plastici che hanno la proprietà di essere espulsi facilmente e di penetrare con efficacia anche nelle microfessure.

L'operazione di controllo deve essere eseguita con temperature del materiale compreso tra 10 e 40°C (esistono comunque prodotti specifici per alte temperature) per consentire la migliore capacità penetrativa del liquido.

Per quanto riguarda il lavaggio si utilizzerà un liquido adatto in funzione del tipo di penetrante utilizzato: acqua a bassa pressione, solventi o emulsionanti.

Va assolutamente ricordato che le parti devono essere perfettamente asciutte prima dell'utilizzo del rilevatore.

Altre applicazioni del metodo risiedono nella ricerca di difetti di fabbricazione:

- cricche di tempra
- filature
- sdoppiature di laminazione.

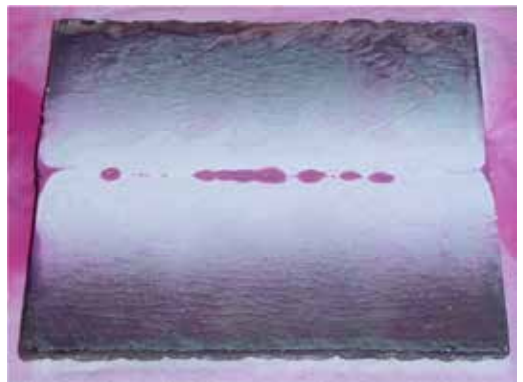
Oppure difetti di servizio:

- cricche di fatica
- cricche di tensocorrosione.

La norma di riferimento per l'esecuzione dell'esame è la UNI EN ISO 3452-1. Per i criteri di accettabilità in base alle indicazioni riscontrate si rimanda alla UNI EN ISO 23277.



Applicazione del liquido penetrante



Indicazioni sul cordone di saldatura

1.5 Esame ultrasonoro (UT)

Il controllo ultrasonoro (UT) è un metodo in cui onde sonore ad alta frequenza sono introdotte nel materiale da esaminare, allo scopo di evidenziare:

- difetti superficiali
- difetti interni
- misurare lo spessore dei materiali
- misurare la distanza e la dimensione delle difettosità.

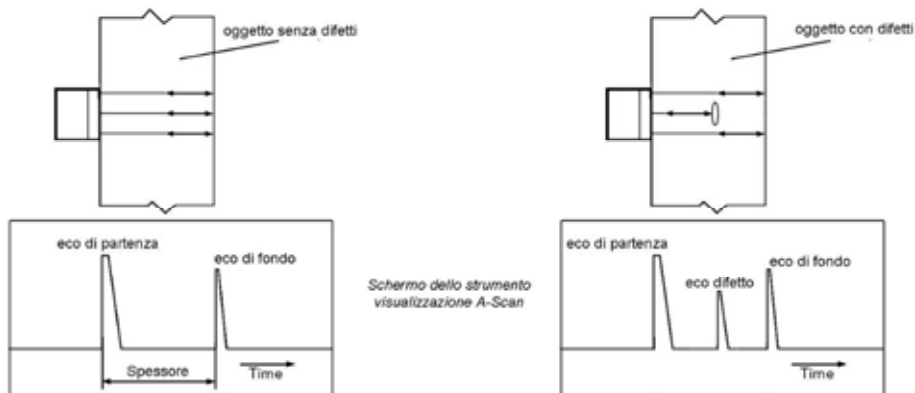
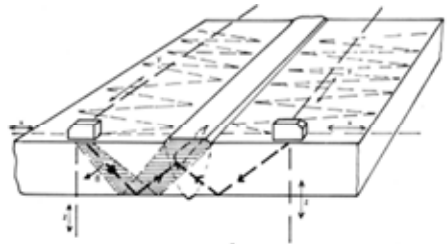
Gli ultrasuoni sono onde acustiche con frequenze superiori alla soglia dell'udito (0,5 - 25 MHz). L'impulso ultrasonoro viene trasmesso nel materiale da un apposito trasduttore, detto comunemente sonda.

La sonda ad ultrasuoni contiene un cristallo piezoelettrico in grado di trasformare un impulso elettrico in una vibrazione meccanica che genera onde sonore nel componente da controllare.

L'eventuale eco riflesso viene di nuovo captato dalla sonda, trasformato da vibrazione meccanica in impulso elettrico, ed attraverso un cavo di collegamento riportato ad un apparecchio che ne amplifica il segnale e lo rende visibile su uno schermo.

Il segnale di partenza degli ultrasuoni, chiamato "eco di partenza", e quello riflesso dalla superficie opposta a quella d'entrata, chiamato "eco di fondo", sono visualizzati sullo schermo con dei picchi la cui distanza risulta proporzionale al tempo che gli ultrasuoni impiegano a percorrere il percorso tra la sonda e la superficie riflettente all'interno del materiale.

Se durante tale percorso il fascio ultrasonoro incontra delle discontinuità sarà riflesso, assorbito, deviato o diffratto secondo le leggi comuni a tutti i fenomeni di propagazione delle onde. Sullo schermo, tra i due precedenti picchi (eco di partenza ed eco di fondo), ne compariranno altri che rappresentano delle indicazioni relative al tipo di discontinuità incontrate.



Ricerca di difetti in un pezzo con sonda piana

A differenza dei metodi con liquidi penetranti e con particelle magnetiche questo tipo di controllo è volumetrico, consente cioè la ricerca di difetti interni al materiale.

Una delle applicazioni fondamentali di questa tecnologia è il controllo di giunti saldati a piena penetrazione.

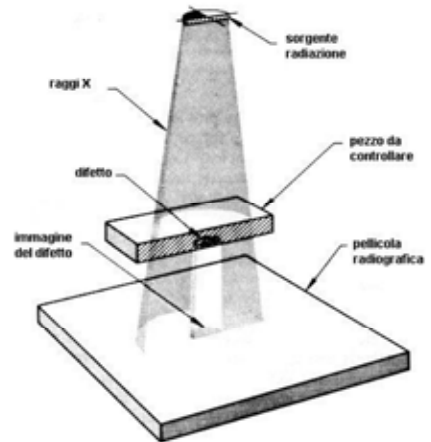
Questo tipo di applicazione prevede l'utilizzo di sonde angolate in quanto, la geometria del giunto e la presenza del sovrametallo sul cordone di saldatura, rende necessario un fascio

ultrasuono angolato per sfruttare la riflessione della lamiera base e scandagliare l'intero volume della saldatura.

1.6 Esame radiografico (RT)

Il controllo con metodo radiografico (RT) come l'esame ultrasonoro è un metodo volumetrico adatto a ricercare difetti all'interno di giunti a piena penetrazione.

Il metodo di controllo in questione utilizza i Raggi X e Raggi gamma che vengono diretti dalla sorgente al giunto saldato da sottoporre a controllo dopo avervi opportunamente posizionato la pellicola. Lo sviluppo della pellicola produce un'immagine bidimensionale dell'oggetto radiografato. In questa immagine le variazioni di spessore, densità, composizione, del pezzo vengono visualizzate come variazioni in una scala di grigio.



La giacitura delle discontinuità è fondamentale per la sensibilità del controllo. Per giaciture non parallele alla direzione del fascio la visibilità risulta molto modesta. Ha il pregio però di fornire immagini di più facile interpretazione che non gli echi degli ultrasuoni, ma non può dare indicazioni sulla profondità del difetto rivelato, se non con due proiezioni ortogonali fra loro.

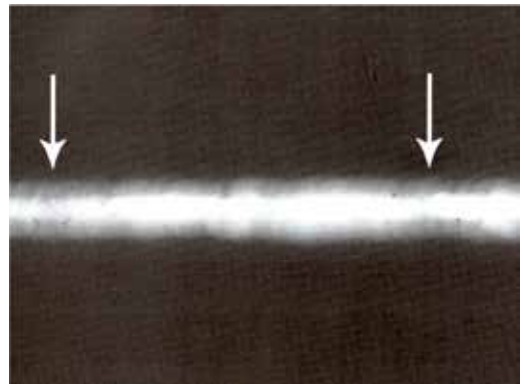
Con questo metodo, osservando le variazioni di annerimento della pellicola radiografica, è possibile individuare le imperfezioni interne di getti oppure di saldature, tra cui:

- porosità
- soffiature
- inclusioni di scorie
- mancanza di penetrazione
- cricche.

L'interpretazione viene effettuata da un operatore qualificato che in base a quanto previsto dalle norme o specifiche per l'oggetto in esame emetterà un giudizio di accettabilità.



Strumentazioni controlli RT



Porosità

1.7 Difetti nelle saldature

La norma UNI EN ISO 6520-1 fornisce una descrizione delle imperfezioni nelle saldature per fusione classificandole in 6 gruppi:

- cricche
- cavità
- inclusioni solide
- mancanza di fusione e di penetrazione
- difetti di forma e dimensionali
- altre imperfezioni.

Cricche (gruppo 1)

Le cricche sono il difetto più grave e temibile di un giunto saldato, non sono accettabili per nessun livello della norma UNI EN ISO 5817. Infatti una cricca, anche se di piccole dimensioni, rappresenta il segnale di una rottura in atto con alto fattore di concentrazione delle tensioni alle sue estremità. Una cricca può aumentare le sue dimensioni nel tempo a seconda delle dimensioni iniziali e delle sollecitazioni di esercizio cui è sottoposta, portando al cedimento del giunto.

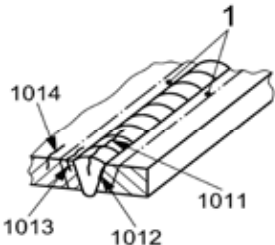
In base alla loro natura si dividono in:

- cricche a caldo, causate dalla presenza di un elevato tenore di impurezze (zolfo e fosforo) contenute nel materiale base. Sono dovute alla formazione di composti a bassa temperatura di fusione che, durante la solidificazione del metallo, non resistono agli sforzi di ritiro.
- cricche a freddo, principalmente dovute a fenomeni di presenza di idrogeno nel bagno di saldatura con conseguente calo della duttilità del materiale. Questo fatto, unitamente alla formazione di parti fragili nella zona saldata, porta alla creazione di cricche in zona fusa. Il fenomeno si sviluppa ulteriormente se il materiale d'apporto è più temprante del materiale base o in zona termicamente alterata nel caso contrario.

Per prevenire la formazione di cricche è necessario adottare i seguenti accorgimenti:

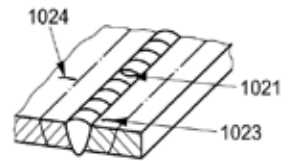
- progettare il giunto in modo da minimizzare le tensioni durante il ritiro
- preriscaldare i componenti da saldare
- evitare raffreddamenti troppo veloci e nel caso di saldatura ad elettrodo
- prevenire la formazione di umidità conservandoli in maniera opportuna.

La norma UNI EN ISO 6520-1 identifica le cricche non in base alla loro natura ma alla posizione ed orientamento sul giunto saldato come nello stralcio di seguito riportato.

UNI EN ISO 6520-1 – Gruppo 1	
<p>Cricche longitudinali (101)</p> <ul style="list-style-type: none">• Cricche longitudinali in zona fusa (1011);• Cricche longitudinali lungo la linea di fusione (1012);• Cricche longitudinali in zona termicamente alterata (1013)• Cricche longitudinali in materiale base (1014)	

Cricche trasversali (102)

- Cricche trasversali in zona fusa (1021)
- Cricche trasversali in zona termicamente alterata (1023)
- Cricche trasversali in materiale base (1024)



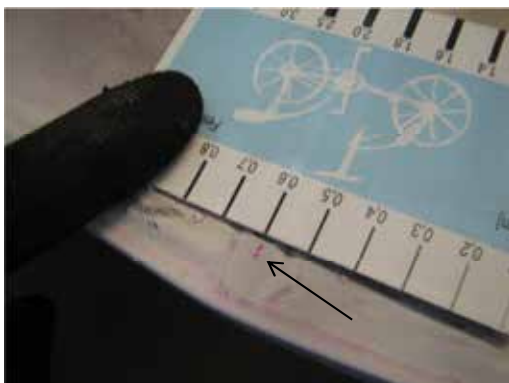
Cricche longitudinali su cordoni di saldatura

Cavità (gruppo 2)

Si tratta in generale di assenze di materiale provocate da gas intrappolati nel bagno che si è solidificato troppo rapidamente. Assumono la denominazione di pori o soffiature a seconda che la loro dimensione sia inferiore o superiore ad 1 mm.

Le porosità gassose possono essere isolate, diffuse o raggruppate. Generalmente hanno forma sferica, salvo quando si uniscono più di una per cui assumono una forma allungata con lunghezza superiore a più di tre volte il loro diametro. In questa circostanza vengono chiamati "tarli".

Per evitare il difetto è necessario scegliere con accuratezza i materiali d'apporto, pulire adeguatamente i lembi da saldare e diminuire la velocità di saldatura per lasciare ai gas il tempo di uscire dal bagno.



Porosità riscontrata con liquidi penetranti



Porosità riscontrata con controllo visivo

Inclusioni solide (gruppo 3)

Si tratta di sostanze estranee di vario genere intrappolate nel metallo fuso.

Le inclusioni solide si classificano, a seconda del materiale che le costituisce, in inclusioni di scorie e inclusioni di tungsteno.

Le prime sono prodotte durante la solidificazione del bagno di saldatura che non sono state rimosse o sono state rimosse in malo modo dall'operatore nei cordoni realizzati con elettrodi rivestiti e ad arco sommerso.

Le seconde, tipiche del procedimento TIG (con elettrodo infusibile di tungsteno), sono dovute principalmente ad una scarsa attenzione dell'operatore nel maneggiare la torcia.

Mancanza di fusione e di penetrazione (gruppo 4)

Si tratta di discontinuità esistenti tra i due lembi del cianfrino (mancanza di penetrazione) o tra un lembo e la zona fusa (mancanza di fusione) provocate dalla mancata fusione di entrambi o di uno solo dei lembi.

Spesso si verificano quando si saldano giunti dalle geometrie piuttosto complesse (ad esempio giunti ad angolo o giunti di testa con cianfrino a V), o quando si utilizzano correnti di saldatura troppo basse o quando la passata viene effettuata a velocità troppo alta.

Difetti di forma e dimensionali (gruppo 5)

Si tratta, in generale, di imperfezioni del profilo sulle superfici esterne della saldatura oppure della configurazione geometrica difettosa del giunto. Sono imperfezioni di carattere sostanzialmente operativo.

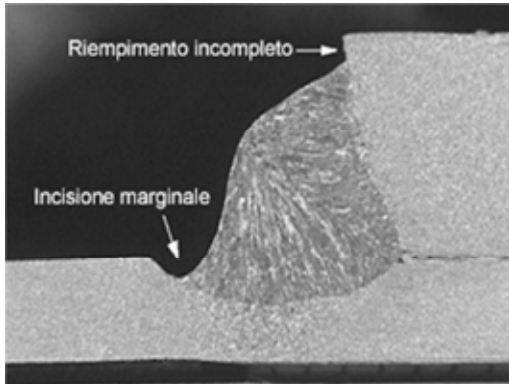
Di seguito si riportano i difetti principali che appartengono a questo gruppo.

- **Incisioni marginali**: hanno origine quando si ha un'eccessiva fusione del metallo base e sono essenzialmente causate dall'impiego di corrente eccessiva, associata ad un impiego non corretto della torcia.
- **Eccesso di sovrametallo**: eccessivo deposito di materiale d'apporto sulla saldatura. Un cordone di saldatura molto alto è indice di una corrente troppo elevata. E' da considerare un difetto poiché profili irregolari danno origine a zone di concentrazione degli sforzi. Bisogna assolutamente effettuare un'adeguata regolazione dell'intensità di corrente o eventualmente rimediare al difetto mediante la rasatura del cordone.
- **Riempimento incompleto**: al contrario dell'eccesso di sovrametallo il materiale d'apporto non è sufficiente a riempire la sezione voluta della saldatura.
- **Slivellamento dei lembi**: difetto dovuto ad un imperfetto assemblaggio del giunto che ostacola la possibilità di eseguire una saldatura regolare. Nel migliore dei casi si riscontra una brusca variazione del profilo, ma in certe situazioni lo slivellamento è tale da provocare una mancanza di fusione del lembo sottoposto.

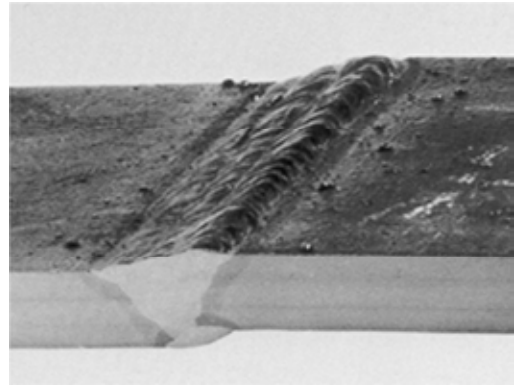


Altre imperfezioni appartenenti a questo gruppo sono:

- l'eccessiva convessità del cordone
- il raccordo difettoso
- il traboccamento
- l'asimmetria eccessiva di una saldatura d'angolo
- il cordone irregolare
- tutti quei difetti geometrici come l'altezza di gola insufficiente o eccessiva.



Incisione marginale e riempimento incompleto

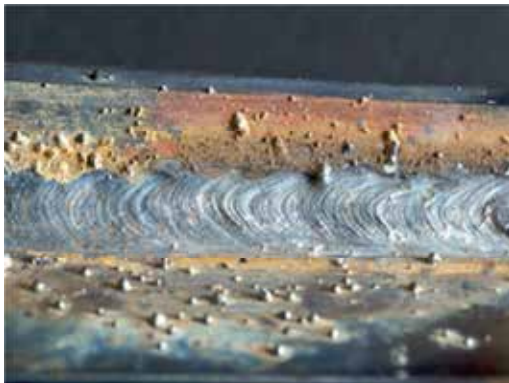


Slivellamento dei lembi

Altre imperfezioni (gruppo 6)

Sono tutte quelle imperfezioni che non rientrano negli altri gruppi.
Fanno parte di questo gruppo i difetti:

- il colpo d'arco
- lo spruzzo
- lo strappo superficiale
- il colpo di mola
- il colpo di scalpello
- la molatura eccessiva
- l'imperfezione della puntatura
- lo sfasamento di saldature contrapposte
- i colori di rinvenimento
- la superficie con calamina
- il residuo di flusso
- il residuo di scoria
- il distacco non corretto in saldatura d'angolo
- il rigonfiamento.



Spruzzi



Colpo d'arco

1.8 Considerazioni sui controlli saldature

Come visto nei paragrafi precedenti esistono più tipologie di controllo non distruttivo applicabile ai giunti saldati. La scelta del metodo di controllo diventa fondamentale e il Collaudatore e Direttore dei Lavori dovrebbe possedere le conoscenze minime per poter decidere il metodo opportuno in base al tipo di saldatura.

L'operatore qualificato che esegue i controlli non distruttivi può essere di supporto nella scelta del metodo da applicare ma non spetta a lui definire l'entità dei controlli ed il livello di qualità che la saldatura deve possedere.

Tali livelli vanno stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione. In assenza di tali dati si adatterà, per strutture non soggette a fatica, il livello C della norma UNI EN ISO 5817 e il livello B per strutture soggette a fatica (§11.3.4.1 D.M. 14 Gennaio 2008).

E' importante considerare che esistono metodi di controllo superficiali (VT, MT e PT) che mettono in evidenza difetti che sfociano o che sono in prossimità della superficie, e metodi volumetrici (UT e RT) che si applicano esclusivamente alle giunzioni a piena penetrazione e servono a riscontrare difetti interni.

I controlli magnetoscopici (MT) si devono applicare solo ai materiali ferromagnetici, come le saldature a cordone d'angolo in carpenteria, in quanto riescono a mettere in evidenza anche difetti leggermente al di sotto della superficie.

I controlli con liquidi penetranti (PT) si possono applicare a tutti i materiali ma riescono a riscontrare solo difetti che sono aperti sulla superficie. Sono preferiti ai controlli magnetoscopici quando il requisito fondamentale del controllo è la sensibilità.

I controlli ultrasonori (UT) sono più pratici da eseguire in un contesto di cantiere rispetto ai controlli radiografici (RT) ma possono essere eseguiti solo su materiali aventi una bassa attenuazione ultrasonora e giunzioni con spessore maggiore o uguale a 8 mm.

A seguire si riporta una tabella con le norme riguardanti l'argomento.

Argomento		Norma sostituita	Norma in vigore	
CONTROLLI NON DISTRUTTIVI	Certificazione Personale		UNI EN 473	UNI EN ISO 9712
	Regole generali	Scelta del metodo	UNI EN 12062	UNI EN ISO 17635
	Esame visivo	Principi generali	UNI EN 970	UNI EN ISO 17637
		Accettabilità	UNI EN 25817	UNI EN ISO 5817
	Esame Liquidi penetranti	Principi generali	UNI EN 571-1	UNI EN ISO 3452-1
		Accettabilità	UNI EN 1289	UNI EN ISO 23277
	Esame magnetoscopico	Principi generali	UNI EN 1290	UNI EN ISO 17638
		Accettabilità	UNI EN 1291	UNI EN ISO 23278
	Esame ultrasonoro	Principi generali	UNI EN 1714	UNI EN ISO 17640
		Accettabilità	UNI EN 1712	UNI EN ISO 11666
	Esame radiografico	Principi generali	UNI EN 1435	UNI EN ISO 17636-1
		Accettabilità	UNI EN 12517-1	UNI EN ISO 10675-1

1.9 Compiti del Direttore dei Lavori nel processo di saldatura – NTC e EN 1090-1

Si riportano i punti fondamentali previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (§11.3.4.1 D.M. 14 Gennaio 2008) riguardanti il processo di saldatura.

Questi punti devono far parte del bagaglio tecnico del Direttore Lavori in ambito saldatura in quanto su di esso competono responsabilità dirette di impostazione, esecuzione e controllo.

- I saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali devono essere qualificati secondo la norma UNI EN 287-1:2012 da parte di un Ente terzo. A deroga di quanto richiesto nella norma UNI EN 287-1:2012, i saldatori che eseguono giunti a T con cordoni d'angolo devono essere specificamente qualificati e non possono essere qualificati soltanto mediante l'esecuzione di giunti testa - testa.
- Tutti i procedimenti di saldatura devono essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 15614-1:2012. Le prove di qualifica dei saldatori, degli operatori e dei procedimenti devono essere eseguite da un Ente terzo. In assenza di prescrizioni in proposito l'Ente è scelto dal costruttore secondo criteri di competenza e d'indipendenza.
- Le saldature devono essere sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicabili per la progettazione.
- L'entità ed il tipo di tali controlli distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100% sono definiti dal Direttore dei Lavori e dal Collaudatore. Per cordoni d'angolo o giunti a parziale penetrazione si useranno i metodi superficiali (LP o MT), mentre per i giunti a completa penetrazione, oltre a quanto previsto, si useranno metodi volumetrici e cioè raggi X o Gamma (RT) o Ultrasuoni (UT) per i giunti testa- testa e solo ultrasuoni per i giunti a T a piena penetrazione.
- Tutti gli operatori che eseguono i controlli devono essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 473:2008 almeno di livello 2.
- Oltre alle prescrizioni applicabili, in relazione alla tipologia dei manufatti realizzati mediante saldatura, il costruttore deve essere certificato secondo la norma EN ISO 3834 parti 2 e 4.

Dal punto di vista puramente tecnico, per quanto riguarda il processo di saldatura, non ci sono sostanziali differenze introdotte dalla nuova EN 1090-1 se non che il fabbricante deve dimostrare di adottare un processo di "Controllo di Produzione in Fabbrica" che deve essere certificato da parte di un Organismo Notificato.

Per quanto riguarda esclusivamente la saldatura ciò significa fundamentalmente lavorare in conformità alla norma EN ISO 3834 (Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici), norma per la quale nelle NTC era già richiesta la certificazione.

Si riporta una sintesi delle indicazioni previste dalle norme.

DM 14.01.2008
Certificazione UNI EN ISO 9001 Certificazione UNI EN ISO 3834
Qualifica saldatori
Qualifica saldature
Esecuzione CND - personale qualificato
Coordinamento – UNI EN ISO 14731
Iscrizione annuale STC

UNI EN 1090-1
FPC (Controllo di produzione in fabbrica) verificato da ente notificato
Qualifica saldatori
Qualifica saldature
Esecuzione CND - personale qualificato
Coordinamento – UNI EN ISO 14731
Marcatura CE

Indagini in sito e prove di laboratorio su strutture metalliche

Questi processi, ben noti ai produttori di strutture in acciaio e alluminio che ne sono tenuti obbligatoriamente al rispetto, sono tuttavia sconosciuti all'interno dei cantieri edili.

Il Direttore dei Lavori a cui spetta la sorveglianza deve avere familiarità con documenti di saldatura quali WPS (Welding Procedure Specification), normative sull'ispezione e l'accettabilità, disegni di dettaglio (preparazione dei lembi, requisiti dimensionali), procedure di controllo qualità.

Di seguito si riporta una sintesi delle attività di controllo e sorveglianza che il Direttore dei Lavori deve intraprendere ogni qual volta il processo di saldatura viene eseguito all'interno di un cantiere edile.

CONTROLLI PRE-SALDATURA	
Controllo dei materiali	<ul style="list-style-type: none">• Devono essere in accordo con i disegni approvati per le relative WPS (Welding Procedure Specification).• Devono essere identificati, rintracciabili e certificati.• Devono essere immagazzinati in maniera adeguata.
WPS (procedura di saldatura)	<ul style="list-style-type: none">• È necessario avere le WPS in quanto contengono informazioni quali il procedimento e il materiale da utilizzare, il tipo di giunto, la posizione di saldatura, il valore di corrente e apporto termico, un eventuale necessità di preriscaldamento e altre istruzioni utili nell'esecuzione della giunzione.• Le WPS devono essere approvate e sempre disponibili per i saldatori.
Preparazione dei lembi	<ul style="list-style-type: none">• La preparazione dei lembi deve essere in accordo con le WPS o i disegni costruttivi.
Qualifica dei saldatori	<ul style="list-style-type: none">• Identificazione dei saldatori qualificati per ciascuna WPS da usarsi in saldatura e verifica della validità dei certificati di qualifica.
CONTROLLI DURANTE LA SALDATURA	
Processo di saldatura	<ul style="list-style-type: none">• Verificare che le condizioni atmosferiche siano adatte all'esecuzione della saldatura.• Verificare che tutti i parametri di esecuzione della saldatura siano in accordo con la WPS applicabile.
Saldatori	<ul style="list-style-type: none">• Assicurarsi che siano inseriti nell'elenco dei saldatori qualificati per la WPS utilizzata.
CONTROLLI POST SALDATURA	
Controlli non distruttivi (CND)	<ul style="list-style-type: none">• Assicurarsi che vengano eseguiti i CND da personale qualificato secondo UNI EN ISO 9712.• Fornire all'operatore dei CND i disegni di dettaglio ed il livello di qualità della saldatura previsto per l'accettabilità.• Archiviare i report di controllo.
Riparazioni	<ul style="list-style-type: none">• Assicurarsi che le saldature non accettabili vengano riparate e venga rieseguito il controllo non distruttivo.

Indagini in sito e prove di laboratorio su strutture metalliche

Nella tabella seguente le normative di riferimento le norme riguardanti la qualifica delle saldature e dei saldatori

Argomento		Norma sostituita	Norma in vigore
QUALIFICA	Qualifica dei saldatori	UNI EN 287-1	UNI EN ISO 9606-1
	Qualifica delle saldature		UNI EN ISO 15614-1

A titolo di esempio si riporta la WPS per una saldatura ad angolo da eseguire sottotesta.

Location: Workshop
 Manufacturer's WPS No: 07-PF(b)
 WPOR: To be confirmed
 Manufacturer: To be confirmed

Welder's Name: N/A
 Welding Process: 135 (MAG)
 Joint Type: Multi-run Fillet Weld (Single or Double Sided)

Method of Preparation and Cleaning:
 Thermal cut and / or grinding, wire brush and degrease if required
 Parent Material Designation:
 BS EN 10025-2: S275 & S355 -
 Up to and including sub-grade J2 (Max CEV = 0.45)
 Material Thickness: 10 to 25mm
 Outside Diameter: N/A
 Welding Position: PF (Vertical Upwards)

Joint Design		Welding Sequence	

Welding Details:

Run	Process	Size of Filler Metal Ø mm	Current A	Voltage V	Type of Current/ Polarity	Wire Feed Speed m/min	Travel Speed mm/min	Heat Input kJ/mm
1 - 3	135 (MAG)	1.2	170 - 190	22 - 24	DC +ve	4.0 - 4.5	120 - 160	1.1 - 1.8

Filler Metal Classification & Trade Name: BS EN ISO 14341: G3Si1 (Trade name to be confirmed)
 Any Special Baking or Drying: Stored in accordance with manufacturers recommendations
 Gas-Flux: - Shielding / Backing: Argon / 20% CO₂ / 2% O₂
 Shielding Gas Flow Rate: 15 - 18 L/min
 Tungsten Electrode Type / Size: N/A
 Details of Back Gouging / Backing: N/A
 Preheat Temperature: 0°C Minimum (for combined thicknesses up to 75mm)
 Interpass Temperature: 250° Maximum (See Note 4)
 Post-Weld Heat Treatment and / or Ageing: N/A
 Time, Temperature, Method: N/A
 Heating & Cooling Rates: N/A

Other Information: 1. Nozzle diameter = 16mm.
 2. In all cases the gap between component parts shall be kept to a minimum.
 3. Should the gap between component parts exceed 1.5mm, the fillet leg length shall be increased in order to achieve the required design throat thickness. Under no circumstance should the gap between component parts exceed 3mm.
 4. Interpass temperature shall be checked using a contact thermometer or temperature indicating crayon.
 5. Weld finish to be left as-welded unless specified otherwise.

For Manufacturer: RWC's Signature
 For Examiner / Examining Body: N/A

*N/A = Not Applicable

2. Prove sugli elementi di carpenteria in sito

2.1 Misure di durezza con durometri portatili

L'indagine tramite microdurometro Vickers sugli elementi di carpenteria ha lo scopo di ottenere una valutazione della resistenza meccanica a trazione dell'acciaio. L'operazione viene effettuata mediante l'utilizzo di un microdurometro portatile. Per la sua semplicità consente di estendere la prova ad una grande quantità di elementi permettendo una efficace valutazione statistica.

L'area d'indagine deve preventivamente essere preparata eliminando la vernice e lucidandola con carta abrasiva di grana almeno 400.

La misura della durezza si ottiene premendo la punta di diamante dello strumento sulla superficie dell'acciaio e producendo un'impronta. In questo modo si carica progressivamente una molla elicoidale contenuta nel corpo della sonda. Quando il carico ha raggiunto un valore corrispondente a quello di taratura lo strumento rileva automaticamente la misura dell'impronta e la memorizza (metodo UCI).

Il valore medio di durezza Vickers (HV) ottenuto per singolo elemento è convertito in resistenza secondo le tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 18265.

Si riporta uno stralcio di alcuni risultati sperimentali ottenuti su un ponte ferroviario, dove sono state eseguite anche prove di laboratorio.

Den.	Elemento	Misura con microdurometro	Conversione UNI EN ISO 18265
		Vickers [HV]	Rt [MPa]
V1	Corrente superiore	155	493
V2	Controvento diagonale	152	483
V3	Diagonale	147	468
V4	Montante verticale	146	465
V5	Piastra	150	477

La conversione evidenzia valori compatibili con acciai S275 (Fe 430) per tutti gli elementi. I valori caratteristici degli acciai da normativa (UNI EN 10025-2) sono riportati nella tabella seguente

Caratteristica	Fe360 / S235	Fe430 / S275	Fe510 / S355
Tensione (carico unitario) di rottura a trazione [N/mm ²]*	> 360 < 510	> 410 < 560	> 470 < 630

*I valori sono relativi a lamiere di spessore compreso tra i 3 e i 100 mm

Come riportato nella norma UNI EN ISO 18265, la conversione tra diversi valori di durezza, o da valori di durezza a valori di resistenza, è di regola affetta da imprecisioni di cui si deve tenere conto.

Una ragione è la grande incertezza che è influenzata da cambiamenti microstrutturali risultanti da trattamenti termici o deformazioni a freddo. Per questo i valori di resistenza stimati attraverso le prove con durometro Vickers non possono prendere il posto dei risultati di resistenza alla trazione, ma vanno abbinate a prove distruttive eseguite in laboratorio.

Nel caso in oggetto le prove di laboratorio confermano quanto rilevato in campo evidenziando sia per quanto riguarda la durezza che la resistenza a trazione valori compatibili con un acciaio S235 (Fe 430).

Prove di laboratorio		
Denominazione campione	Durezza Vickers [HV10]	Carico di rottura [N/mm ²]
PR 1 (Controvento diagonale)	155	460,1



Misure con microduremetro portatile su un ponte ferroviario

2.2 Misure di spessore con ultrasuoni

Le misurazioni di spessore sono una delle più comuni applicazioni della tecnologia ad ultrasuoni.

Delle onde sonore vengono immesse nell'elemento da misurare attraverso una sonda posta sulla superficie accessibile del pezzo. Queste onde vengono riflesse dalla superficie opposta e sono rilevate nuovamente dalla sonda che trasforma l'impulso meccanico in impulso elettrico.

Conoscendo il valore di propagazione del suono nel materiale esaminato, lo spessore viene calcolato misurando il tempo di ritorno del segnale.

La relazione che ne deriva è la seguente:

$$H = (V \times t) / 2$$

H = spessore del materiale misurato;

V = velocità specifica di propagazione degli ultrasuoni nel materiale;

t = tempo impiegato dall'impulso ad attraversare il materiale (andata e ritorno).

La scelta del tipo di sonda è fondamentale e dipende dalle caratteristiche del pezzo e dal tipo di tecnica applicata.

Utilizzando sonde piane e la tecnica ad eco multiplo è possibile eseguire misure anche su superfici verniciate rilevando il solo spessore dello strato di metallo.

Lo scopo della prova consiste nella verifica dello stato di usura o corrosione di elementi ai quali si può accedere da un solo lato, senza necessità di smontare o portare in altra sede le parti oggetto dell'indagine.

Nella pagina seguente si riportano alcuni esempi di applicazione dell'indagine.



Tubazioni e serbatoi



Strutture metalliche



Pali porta antenna e tori faro



Recipienti in pressione

2.3 Controlli sulle verniciature (misure di spessore, test di aderenza)

Ossidazione e corrosione sono nemici naturali di tutti gli elementi di carpenteria. Creare un rivestimento duraturo è fondamentale per la vita utile della struttura.

Misurare lo spessore dell'elemento protettivo (verniciatura, zincatura, anodizzazione, plastificazione, cromatura ecc.) è possibile attraverso degli strumenti che sfruttano il principio dell'induzione magnetica o delle correnti parassite.



Misura dello spessore della zincatura



Misura dello spessore della verniciatura

Questi strumenti danno un riscontro immediato del valore del rivestimento poggiando la sonda sul pezzo in esame, si può in tal modo verificare che sia presente il minimo di riporto richiesto.

Per verificare l'adesione del riporto all'elemento di carpenteria si esegue una prova chiamata pull-off, in pratica si tratta di incollare, tramite un adesivo speciale, degli appositi provini (simili a dei cilindri) sul rivestimento. Una volta trascorso il tempo necessario all'adesione dei provini al rivestimento questi vengono strappati tramite un apposito strumento che misura la forza necessaria per distaccare provino e rivestimento dall'elemento di carpenteria esaminato.



Applicazione dei provini



Distacco dei provini e misura della forza

2.4 Analisi chimiche con analizzatore portatile XRF

La tecnica XRF (X-Ray Fluorescence) consente di individuare gli elementi chimici costitutivi di un campione grazie all'analisi della radiazione X emessa (la cosiddetta fluorescenza X caratteristica) in seguito ad eccitazione atomica con opportuna energia.

L'analisi è di tipo non distruttivo in quanto non richiede alcun la preparazione del campione, se non la rimozione dello strato protettivo. Si può operare in aria e non altera in nessun modo il materiale analizzato.



Analisi chimica con XRF

La radiazione X che incide sul campione ha energia massima di qualche decina di keV e l'informazione che si ottiene proviene dagli strati più superficiali del campione, cioè da quelli che la radiazione caratteristica rimessa riesce ad attraversare.

La radiazione caratteristica emessa dal campione è rivelata in funzione della sua energia (Energy Dispersive-XRF) da un rivelatore a stato solido che permette di individuare in un'unica misura tutti gli elementi rivelabili presenti nel campione.

2.5 Video-endoscopie e controlli visivi remotizzati

La videoendoscopia è un esame visivo remoto che viene eseguito quando l'esame visivo diretto non risulta possibile per problemi di accessibilità.

Per l'esame visivo remoto si utilizzano strumenti ausiliari quali endoscopi e videoendoscopi a fibre ottiche, abbinati a macchine fotografiche o ad altri strumenti adeguati.

In un videoendoscopio l'immagine è trasmessa dalla telecamera al sistema di visione mediante dei cavi che trasportano segnali elettrici.



Controllo saldatura interna alla base di un palo porta antenna



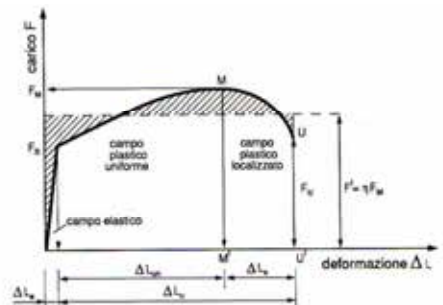
Controllo corrosione dei tirafondi di un palo porta antenna

3. Prove sugli elementi di carpenteria in laboratorio

3.1 Prova di trazione

La prova di trazione è eseguita su provette con dimensioni e geometria opportuna attraverso l'applicazione di un carico monoassiale crescente.

I risultati della prova di trazione sono rappresentati da un diagramma carico-allungamento e da una serie di grandezze relative alla resistenza, deformabilità, ed all'elasticità di cui è costituito il provino.



La normativa di riferimento per l'Europa è la EN 10002



Macchina per prova di trazione



Provini portati a rottura

3.2 Misure di durezza

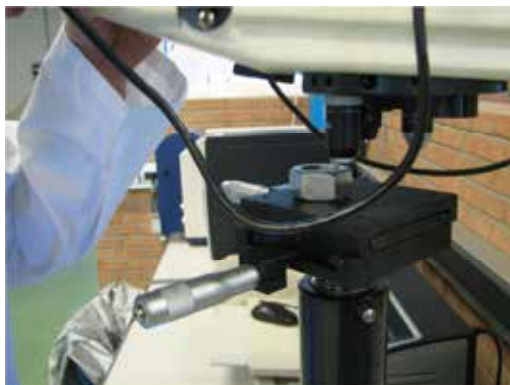
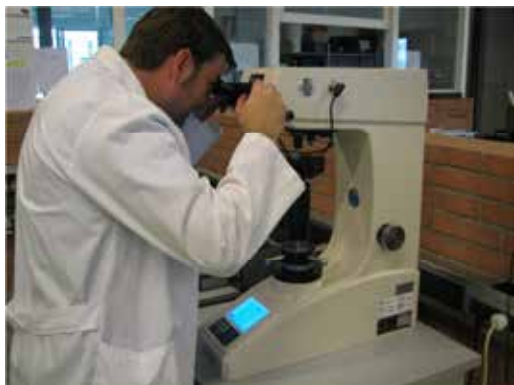
La durezza è una misura della resistenza di un metallo alla deformazione plastica permanente.

La durezza di un metallo viene misurata comprimendo un penetratore sulla sua superficie. Il penetratore, che è solitamente una sfera, una piramide o un cono, è costituito da un materiale molto più duro dell'elemento in analisi.

I materiali comunemente usati per i penetratori sono l'acciaio temperato, il carburo di tungsteno o il diamante.

I valori della durezza sono determinati secondo vari metodi, fra i quali il più comunemente impiegati sono quelli Brinell, Vickers e Rockwell.

Ogni metodo usa un diverso penetratore e un valore diverso del carico. Se, su uno stesso materiale, eseguiamo prova di durezza con metodi differenti otteniamo indici differenti che vanno interpretati secondo apposite tabelle.



Esecuzione prova di durezza Vickers su un dado

3.3 Prova di resilienza

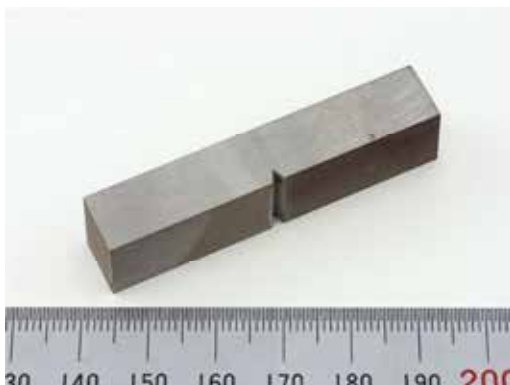
Si definisce resilienza la capacità che ha un materiale di resistere alla rottura a flessione per urto.

La prova consiste nel rompere un provino intagliato del materiale da esaminare, mediante una mazza a caduta pendolare, e nel misurare (per differenza di altezza raggiunta dalla mazza dopo la rottura rispetto all'altezza da cui è partita e tenendo conto del peso della mazza stessa) l'energia necessaria a spezzare il provino, misurata in joule.

Per rendere attendibile la prova di resilienza è necessario utilizzare provette unificate aventi precise caratteristiche dimensionali e di forma. La macchina per eseguire la prova di resilienza è nota con il nome di Pendolo di Charpy.



Pendolo di Charpy



Provino per prova di resilienza

3.4 Metallografia

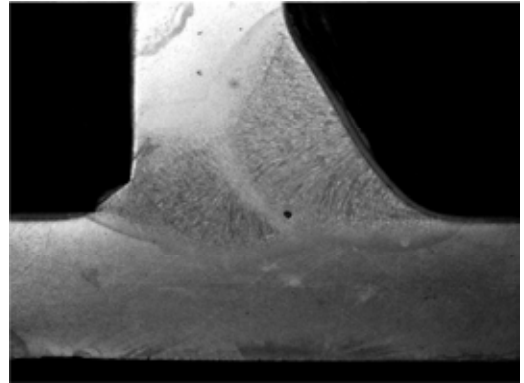
La metallografia consiste nell'esame della struttura dei materiali metallici in relazione alle loro proprietà, sia chimico-fisiche sia meccaniche.

L'analisi avviene attraverso la preparazione di un provino che viene preparato tramite lucidatura e susseguente attacco chimico.

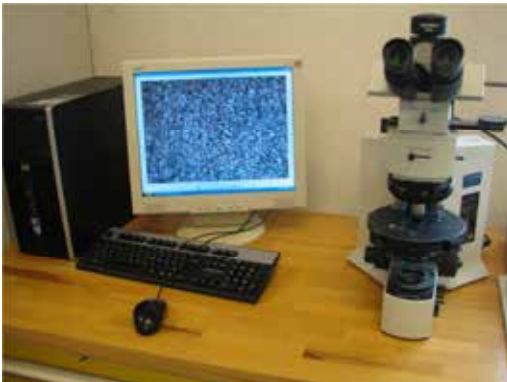
Se il campione viene osservato ad occhio nudo, o con mezzi di osservazione con ingrandimento ottico non superiore a 20, l'esame viene definito macrografico. Altrimenti, se l'osservazione avviene attraverso un microscopio metallografico, l'esame è definito micrografico.

L'esame macrografico mette in evidenza la disposizione delle fibre e l'assetto macro strutturale. E' largamente utilizzato per l'esame delle saldature nelle qualifiche dei procedimenti (UNI EN ISO 15614-1)

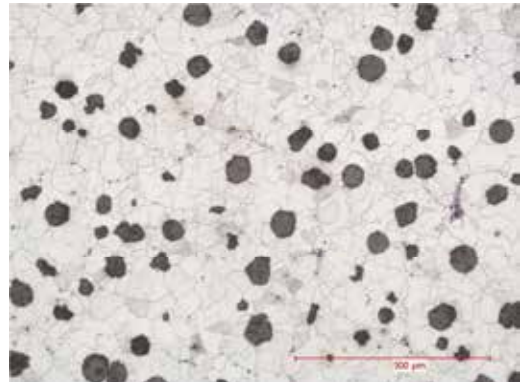
Gli esami micrografici sono finalizzati ad evidenziare la microstruttura, il grado di purezza, la dimensione del grano, la percentuale delle fasi costituenti e la valutazione di decarburazione, rivestimenti e trattamenti superficiali.



Macrografie su saldature



Microscopio metallografico



Struttura di una ghisa al microscopio

3.5 Controlli su elementi di carpenteria secondo NTC

Nella costruzioni di strutture metalliche è consentito l'utilizzo di soli acciai qualificati attraverso l'esecuzione di prove di laboratorio.

I controlli nelle officine sono demandati al direttore tecnico dello stabilimento mentre in cantiere sono sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori.

I controlli in cantiere sono eseguiti prelevando almeno tre saggi per ogni lotto di spedizione, massimo 30 tonnellate (§ NTC 11.3.4.11.3).

Le prove per la verifica dei requisiti devono essere eseguite presso un Laboratorio di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380 2001.

Il prelievo dei saggi deve essere eseguito come previsto dalla norma UNI EN 10025-1 e la preparazione delle provette deve essere in conformità alla UNI EN 10002-1.

I requisiti di composizione chimica, caratteristiche meccaniche e resilienza degli acciai sono definiti nelle norme UNI EN 10025-2, UNI EN 10025-3, UNI EN 10025-4, UNI EN 10025-5.

Di seguito si riportano le tabelle delle caratteristiche meccaniche degli acciai per impieghi strutturali.

prospetto 7 Caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente per prodotti lunghi e piani dei tipi e delle qualità di acciai con valori di resilienza

Designazione		Carico unitario minimo di snervamento $R_{eH}^{(1)}$ MPa ⁽²⁾									Resistenza a trazione $R_m^{(1)}$ MPa ⁽²⁾				
In conformità alla EN 10027-1 e CR 10246	In conformità alla EN 10027-2	Spessore nominale mm									Spessore nominale mm				
		≤16	>16 ≤40	>40 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250	>250 ≤400 ⁽³⁾	>400 ⁽³⁾	<3	≥3 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250	>250 ≤400 ⁽³⁾
S235JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	-	da 360 a 510	da 360 a 510	da 350 a 500	da 340 a 490	-
S235JO	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	-	da 360 a 510	da 360 a 510	da 350 a 500	da 340 a 490	-
S235J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	da 360 a 510	da 360 a 510	da 350 a 500	da 340 a 490	da 330 a 480
S275JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	-	da 400 a 560	da 410 a 560	da 400 a 540	da 390 a 540	-
S275JO	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	-	da 400 a 560	da 410 a 560	da 400 a 540	da 390 a 540	-
S275J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	da 400 a 560	da 410 a 560	da 400 a 540	da 390 a 540	da 380 a 540
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	-	da 510 a 680	da 470 a 630	da 450 a 600	da 450 a 600	-
S355JO	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	-	da 510 a 680	da 470 a 630	da 450 a 600	da 450 a 600	-
S355J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	275	265	da 510 a 680	da 470 a 630	da 450 a 600	da 450 a 600	da 450 a 600
S355K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	275	265	da 510 a 680	da 470 a 630	da 450 a 600	da 450 a 600	da 450 a 600
S450J0 ⁽⁴⁾	1.0590	450	430	410	390	380	360	-	-	-	-	da 550 a 720	da 530 a 700	-	-

a) Per lamiere, nastri e lunghi piatti di larghezze >600 mm, si applica la trasversale (t) alla direzione di laminazione. Per tutti gli altri prodotti, si applicano i valori per la direzione parallela (l) alla direzione di laminazione.
b) 1 MPa = 1 N/mm².
c) I valori si applicano ai prodotti piani.
d) Applicabile solo ai prodotti lunghi.

prospetto 7 Caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente per prodotti lunghi e piani dei tipi e delle qualità di acciai con valori di resilienza (Continua)

Designazione		Posizione dei prova t	Allungamento percentuale minimo dopo rottura ⁽⁴⁾ %										
In conformità alla EN 10027-1 e CR 10246	In conformità alla EN 10027-2		$L_0 = 80$ mm Spessore nominale mm					$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ Spessore nominale mm					
		≤1	>1 ≤1,5	>1,5 ≤2	>2 ≤2,5	>2,5 ≤3	≥3 ≤40	>40 ≤83	>83 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤250	>250 ⁽⁵⁾ ≤400 solo per J2 e K2	
S235JR	1.0038	l	17	18	19	20	21	26	26	24	22	21	-
S235JO	1.0114	l	17	18	19	20	21	26	26	24	22	21	-
S235J2	1.0117	t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	21	21 (e t)
S275JR	1.0044	l	15	16	17	18	19	23	22	21	19	18	-
S275JO	1.0143	l	15	16	17	18	19	23	22	21	19	18	-
S275J2	1.0145	t	13	14	15	16	17	21	20	19	19	18	18 (e t)
S355JR	1.0045	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17	-
S355JO	1.0553	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17	-
S355J2	1.0577	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17	17 (e t)
S355K2	1.0596	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17	17 (e t)
S450J0 ⁽⁴⁾	1.0590	l	-	-	-	-	-	17	17	17	17	-	-

a) Per lamiere, nastri e lunghi piatti di larghezze >600 mm, si applica la trasversale (t) alla direzione di laminazione. Per tutti gli altri prodotti, si applicano i valori per la direzione parallela (l) alla direzione di laminazione.
b) I valori si applicano ai prodotti piani.
c) Applicabile solo ai prodotti lunghi.
d) Applicabile solo ai prodotti lunghi.
e) Applicabile solo ai prodotti lunghi.

4. Casi reali di indagini su strutture metalliche

Di seguito si riportano alcuni estratti da relazioni di indagini eseguite da 4 EMME Service Spa su strutture metalliche di vario genere.

L'intento è quello di fornire alcuni esempi applicati a casi reali delle indagini descritte nei capitoli precedenti.

4.1 Palo porta antenne

Descrizione struttura

La struttura è costituita da 3 tronchi poligonali in acciaio pressopiegati a freddo e saldati longitudinalmente di forma troncoconica incastrati uno sull'altro.

Il palo ha un'altezza complessiva pari a 30 m, in sommità è presente un ballatoio al quale sono collegate le antenne mediante appositi sbracci.

L'ancoraggio alla fondazione avviene tramite tirafondi annegati in un getto di calcestruzzo collegati al fusto di base mediante un'apposita flangia.



Vista del palo

Scopo dell'indagine

Verificare lo stato di conservazione della struttura e la conformità degli elementi utilizzati nella costruzione del palo rispetto ai disegni progettuali.

Indagini eseguite

- Misure di spessore con ultrasuoni su ognuno dei tronchi del palo.
- Misure di durezza con durometro portatile Vickers su ognuno dei tronchi e sulla flangia di base.
- Controllo visivo di tutte le saldature e con particelle magnetiche della saldatura della flangia di base.
- Verifica dello stato dei tirafondi con videoendoscopio.



Misura dello spessore con ultrasuoni



Misura della durezza



Controllo magnetoscopico alla base



Verifica tirafondi con videoendoscopio

Risultati delle indagini

- Le indagini di rilievo degli spessori hanno evidenziato valori conformi a quanto dichiarato nei disegni progettuali, non sono state rilevate riduzioni di spessore dovute a fenomeni di corrosione nelle zone indagate.

Elemento	Spessore nominale [mm]	Spessori misurati [mm]	
		Valore medio	Valore minimo
TP1	8,0	8,5	8,4
TP2	6,0	6,5	6,4
TP3	6,0	6,5	6,4

- Le prove con durometro portatile hanno evidenziato valori di durezza omogenei e compatibili con un acciaio S355 (Fe 510).

Elemento	Misura con microdurometro	Conversione UNI EN ISO 18265
	Vickers [HV]	R _t [MPa]
TP1	170	541
TP2	162	516
TP3	169	539
Flangia	165	524

- I controlli visivi e magnetoscopici delle saldature non hanno evidenziato cricche o difetti di esercizio che possano far temere per l'integrità strutturale degli elementi ispezionati.
- I controlli con videoendoscopio eseguiti dal foro di scarico della condensa non hanno evidenziato anomalie sui tirafondi e sullo strato di malta cementizia a protezione degli stessi.

4.2 Struttura vano ascensore in acciaio

Descrizione struttura

La struttura che compone il vano ascensore oggetto dell'indagine è composta da 5 elementi a pianta quadrata fabbricati in stabilimento che una volta posizionati andranno a comporre il castelletto dell'ascensore.

I 5 elementi, una volta trasportati e posizionati sono stati collegati tra loro mediante saldature eseguite in opera.

Scopo dell'indagine

Verificare l'accettabilità secondo UNI EN ISO 5817 delle saldature eseguite in opera mediante controllo visivo e con particelle magnetiche

Indagini eseguite

- Controllo visivo di tutte le saldature eseguite in opera.
- Controllo con particelle magnetiche a campione (20%) delle saldature eseguite in opera.



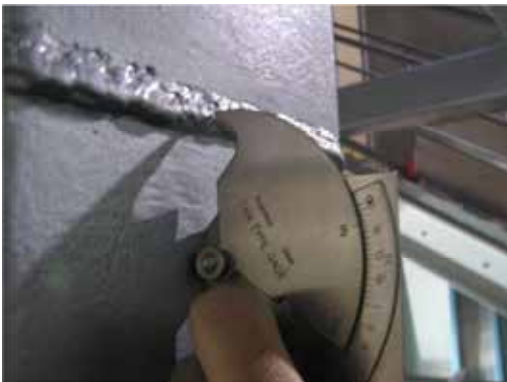
Controllo magnetoscopico



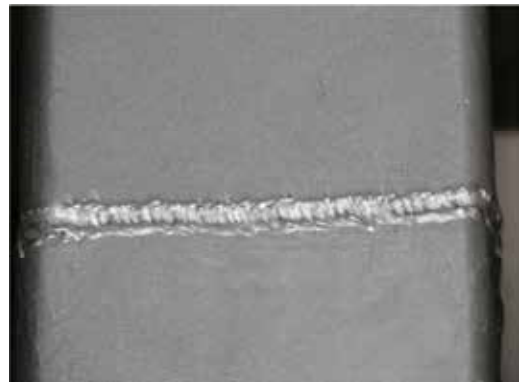
Verifica direzioni di magnetizzazione

Risultati delle indagini

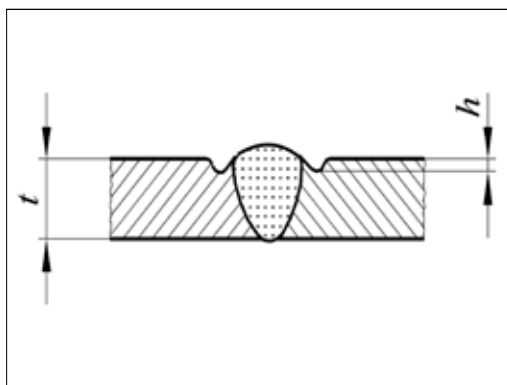
Il controllo visivo ha mostrato difetti geometrici ed estetici di carattere operativo quali sovrametallo eccessivo, porosità, incisioni marginali ed irregolarità del cordone.



Sovrametallo eccessivo

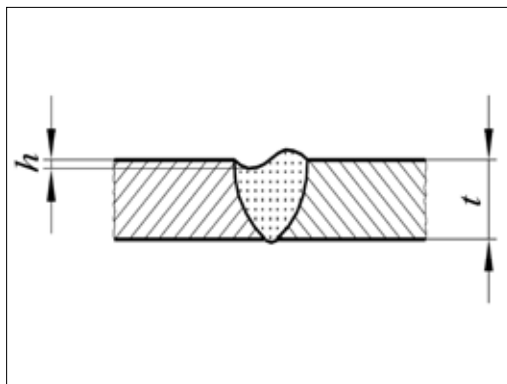


Cordone irregolare



Incisioni marginali

In alcune giunzioni si evidenzia uno scarso riempimento della saldatura con profondità (h) del difetto maggiore di 1 mm. Questo difetto è risultato di dimensioni maggiori del massimo previsto dalla norma UNI EN ISO 5817 e quindi è da ritenere non accettabile.



Riempimento incompleto

Il controllo magnetoscopico ha evidenziato della porosità. Il difetto più grande riscontrato non supera comunque la dimensione massima prevista per l'accettabilità secondo un livello 2X della norma UNI EN ISO 23278 (controllo con particelle magnetiche delle saldature – livelli di accettabilità).

Azioni correttive

Le giunzioni che dal controllo visivo sono risultate non accettabili sono state indicate alla Direzione Lavori.

Dopo l'esecuzione delle riparazioni attraverso il rifacimento del cordone con riempimento completo della saldatura è stato eseguito un nuovo controllo e le saldature sono risultate accettabili.

4.3 Paratoia metallica

Descrizione struttura

L'opera in esame è la paratoia superiore dello sbarramento sul fiume Adige nel Comune di Mori (TN).

La paratoia è caratterizzata da un mantello in acciaio sostenuto da una struttura reticolare dello stesso materiale posta sul lato di valle orografico. La struttura reticolare è costituita da 4 travi longitudinali composte da piastre orizzontali e profili angolari. I montanti ed i profili di collegamento trasversale sono anch'essi composti da profili angolari. La paratoia è coperta nella zona superiore da una piastra inclinata.



Vista della paratoia

Le principali caratteristiche della struttura sono:

- luce paratoia: 16,5 m;
- altezza paratoia: 2,8 m;
- profondità massima della struttura: 1,2 m.

Scopo dell'indagine

Verificare lo stato di conservazione della paratoia ed indicare eventuali interventi di rinforzo strutturale.

Indagini eseguite

- rilievo della struttura con tecnologia laserscanner e restituzione grafica;
- ispezione visiva con rilievo dei dati difettologici attraverso le schede CIAS;
- misure di spessore dei profilati;
- misura della durezza con durometro portatile Vickers;
- verifica dell'integrità strutturale dei chiodi con ultrasuoni;
- analisi chimica e meccanica dell'acciaio in laboratorio;
- modellazione numerica agli elementi finiti sulla base dei rilievi;
- caratterizzazione dinamica;
- prova di carico a tiro con martinetto oleodinamico;
- calibrazione del modello matematico;
- verifica delle tensioni sulla struttura.



Rilievo laser scanner



prelievo campione e ripristino



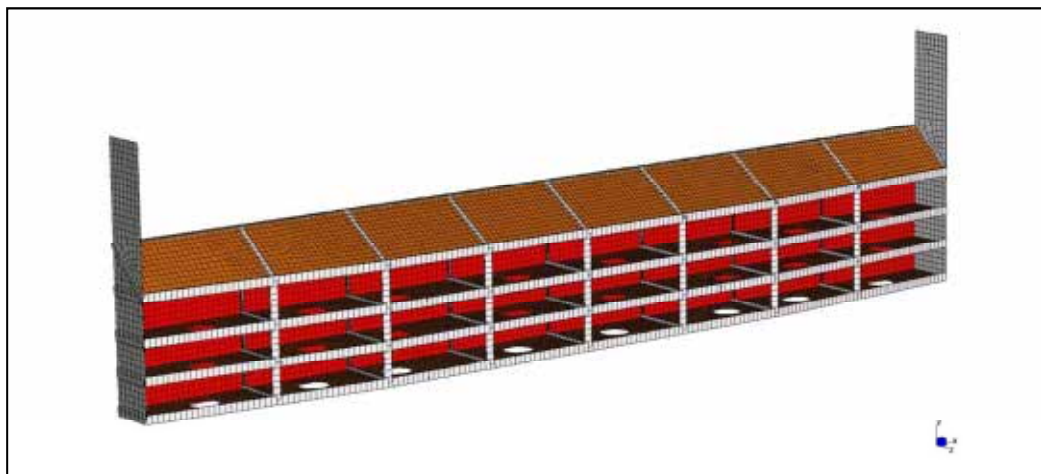
Misurazione spessori con UT



Misura della durezza con durometro portatile



Prova di carico a tiro con martinetto oleodinamico e misura delle deformazioni



Modello agli elementi finiti calibrato sulle indagini eseguite

Risultati delle indagini

- L'ispezione visiva ha evidenziato 2 Non Conformità:
 - le teste di alcuni chiodi in adiacenza al mantello sono fortemente corrose (NC 1);
 - i traversi, nelle zone intradossali di ognuna delle quattro travature, presentano corrosione con riduzione della sezione resistente (NC 2).


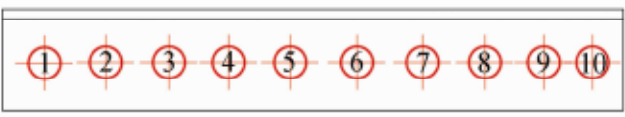


NC1



NC2

- Le indagini di rilievo degli spessori sui profili e sulle piastre non hanno evidenziato significative riduzioni di sezione.
- Le misure ultrasonore sui traversi che dall'ispezione visiva hanno evidenziato corrosione, mostrano una diminuzione media di spessore del 15% che equivale ad un valore di circa 1 mm.

T (13m-13v)										
										
Spessore elemento sano	Spessori rilevati [mm] - Posizione in corsivo									
7,00	1	6,70	2	5,42	3	5,90	4	5,62	5	5,20
	6	6,80	7	6,15	8	5,90	9	6,15	10	6,62

Esempio di misura di spessore con ultrasuoni su un traverso che presenta corrosione

- Il controllo ultrasonico eseguito su 20 chiodi, la metà dei quali scelti tra quelli che presentavano evidente corrosione della testa nell'ispezione visiva, non ha evidenziato difetti con orientamento trasversale all'interno dei chiodi.
- Le prove di laboratorio sul campione di acciaio prelevato, così come le prove Vickers eseguite in vari punti della struttura, hanno mostrato risultati compatibili con quelli di un acciaio Fe360/S235.
- La caratterizzazione dinamica sperimentale della struttura, nella condizione di assenza di carico idrostatico, ha evidenziato valori di frequenza per i modi trasversale e verticale flessionale pari rispettivamente a 7,5 Hz e 10,7 Hz.

- La prova di carico ha mostrato comportamenti elastici e ripetibili.
- Per la combinazione fondamentale di carico agli Stati Limite Ultimi le tensioni ricavate sono inferiori a quelle massime consentite.

Interventi consigliati

- Rimozione della vernice distaccata e pulizia degli elementi dai prodotti di ossidazione tramite sabbiatura o spazzolatura;
- rinforzo dei profili trasversali corrosi attraverso un piatto 60x6 mm saldato con cordone ad angolo in testa e lungo il profilo;
- applicazione sull'intera struttura di un protettivo comprendente una base anticorrosiva e riverniciatura.

4.4 Ponte a cassone in acciaio

Descrizione struttura

La struttura in esame è un viadotto ferroviario composto da 3 campate continue costituite da una trave a cassone metallico.

L'impalcato poggia su spalle e pile in calcestruzzo ed è disposto in modo curvilineo rispetto all'ostacolo oltrepassato.

All'estradosso grava la massiciata e la linea ferroviaria, a singolo binario, è protetta su entrambi i lati da parapetto metallico.

Le principali caratteristiche della struttura sono:

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| • lunghezza totale: | 108,0 m; |
| • luce campata monte e valle: | 32,0 m; |
| • luce campata centrale: | 44,0 m; |
| • larghezza impalcato: | 5,5 m. |



Vista del ponte

Scopo dell'indagine

Fornire al consulente incaricato le informazioni necessarie alla dichiarazione di idoneità statica.

Indagini eseguite

- ispezione visiva con rilievo dei dati difettologici attraverso le schede CIAS;
- verifica di tutte le saldature accessibili con metodo visivo e a campione con liquidi penetranti;
- verifica a campione della coppia di serraggio della bullonatura;
- caratterizzazione dinamica;
- prova di carico statica;
- prova di carico statica – dinamica;
- modellazione numerica agli elementi finiti e sua calibrazione;
- verifica delle tensioni sulla struttura al passaggio dei treni reali.



Controllo visivo saldature



Controllo con liquidi penetranti saldature



Verifica della coppia di serraggio



Prova di carico

Risultati delle indagini

- L'ispezione visiva del ponte non ha evidenziato difetti potenzialmente pericolosi e non sono state riscontrate Non Conformità (NC).
- L'ispezione visiva delle saldature all'interno del cassone metallico non ha evidenziato cricche o difetti di esercizio che possano far temere per l'integrità strutturale degli elementi ispezionati.
- Il controllo con liquidi penetranti non ha evidenziato indicazioni sui cordoni di saldatura esaminati.
- La caratterizzazione dinamica sperimentale dell'impalcato ha evidenziato un primo modo verticale pari a 2,8 Hz ed un modo trasversale di 3,6 Hz.
- Le prove di carico statiche hanno mostrato comportamenti elastici e ripetibili.
- Il controllo con chiave dinamometrica eseguito su 500 bulloni ha evidenziato per il 27% di essi una non adeguata coppia di serraggio, così come riportato in dettaglio nella tabella successiva.

Giunzione	Bulloni controllati	Bulloni allentati			
		Piastra di base	Piastre laterali	Totali	%
G1	40	0	2	2	5
G2	40	23	8	31	78
G3	80	4	7	11	14
G4	40	1	1	2	5
G5	70	40	3	43	61
G6	70	30	4	34	49
G7	40	5	0	5	13
G8	40	7	0	7	18
G9	40	2	0	2	5
G10	40	0	0	0	0
Totali	500	112	25	137	27

- Le prove di carico statiche–dinamiche eseguite mediante il transito del convoglio alla velocità di 30 km/h hanno evidenziato coefficienti dinamici reali sperimentali pari a 1,026–1,028–1,027 rispettivamente per le campate di monte, centrale e di valle.
- Per le combinazioni di carico dovute ai treni reali denominati E86 ed Alstom transitanti sulla struttura alla velocità di 60 km/h, gli stati tensionali prodotti sono inferiori ai massimi consentiti.

Interventi consigliati

- Sistemazione della scossalina sul giunto di monte, in modo da favorire il convogliamento e l'allontanamento delle acque meteoriche.
- Verifica e serraggio di tutti i bulloni con la coppia prevista.

5. Bibliografia

Baker D., Ervig W., Garner J., Krancioch J., Moore D., Pope R., *Guide to Weld Inspection for Structural Steelwork*, Londra, The British Constructional Steelwork Association Ltd, 2012.

Garner J., Krancioch J., Moore D., Thomas R., Brown D., *Typical Welding Procedure Specification for Structural Steelwork*, Londra, The British Constructional Steelwork Association Ltd, 2009.

Preto M., *Difetti di saldatura*, Tg Book, 2010.

IIS, *Principali problemi di saldatura e controllo delle costruzioni metalliche*, Genova, Istituto Italiano della Saldatura, 2013.

IIS, *Controllo ultrasonoro*, Genova, Istituto Italiano della Saldatura, 2013.

IIS, *Controllo con liquidi penetranti*, Genova, Istituto Italiano della Saldatura, 2013.

Aiello C., *Elementi di metallurgia per il Tecnico Prove non Distruttive*, Brescia, AIPnD.

Magistrali G., *Metodo Magnetoscopico – Corso per livello II*, Brescia, AIPnD.

Beltrami E., Nardoni P., Giovanelli F., Zani G., *Esame Visivo - Testo didattico per livelli II e III*, Brescia, AIPnD.

UNI EN ISO 5817 - *Saldatura - Giunti saldati per fusione di acciaio, nichel, titanio e loro leghe - Livelli di qualità delle imperfezioni*, UNI, 2014.

UNI EN ISO 9712 - *Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive*, UNI, 2012.

UNI EN ISO 6520-1 - *Saldatura e procedimenti connessi - Classificazione delle imperfezioni geometriche nei materiali metallici*, UNI, 2008.

Consiglio Superiore dei LL.PP., *Norme Tecniche per le Costruzioni*, DM. 14 gennaio 2008.

CENTRI 4 EMME ITALIA



		<i>Telefono</i>	<i>Cell.</i>	<i>e-mail</i>
BOLOGNA	Via Zanardi 486	051-6346808	335-7034160	bologna@4emme.it
BOLZANO	Via L. Zuegg 20	0471-543111	335-5461000	bolzano@4emme.it
CAGLIARI	Pixina Matzeu, ex ss 131 km 7,3 - SESTU	070-490732	335-7034159	cagliari@4emme.it
COMO	Via T. Grossi 8/A	031-305253	335-7034168	como@4emme.it
FIRENZE	Via Di Le Prata 31 - CALENZANO	055-461000	334-6658447	firenze@4emme.it
GENOVA	Via Borzoli 162 s-t-rossi	010-586195	335-5467914	genova@4emme.it
MILANO	Via Scarsellini 13	02-40092545	335-7034158	milano@4emme.it
MODENA	Via Levanto 65	059-395414	335-7034166	modena@4emme.it
PADOVA	Via Lovarini 31	049-8020707	335-7034162	padova@4emme.it
PALERMO	Via Danimarca 52	091-6703629	335-5299283	palermo@4emme.it
PIACENZA	Via S. Giuseppe 19	0523-755849	335-7034164	piacenza@4emme.it
ROMA	Via Decollatura 64	06-71546992	335-7401386	roma@4emme.it
TORINO	Via Bard 64/A	011-7706023	335-6143832	torino@4emme.it
TREVISO	Via Garibaldi 27 - ORSAGO	0438-990200	335-8072190	treviso@4emme.it
VERONA	Via Roveggia 136/A	045-8004278	335-7034161	verona@4emme.it



4 EMME Service S.p.A.

Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano - ITALY
 Tel. 0471/543111 - Fax 543110 4emme@legalmail.it www.4emme.it
 Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

