

# INFLUENZA DEI FENOMENI DI CORROSIONE NELLE VERIFICHE PERIODICHE DELLE ATTREZZATURE DI LAVORO

F. Giacobbe<sup>(\*)</sup>, M. Platania<sup>(\*)</sup>, A. Sili<sup>(\*\*)</sup>, A. Iacino<sup>(\*\*\*)</sup>, A. Corso<sup>(\*\*\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> INAIL - Dipartimento Territoriale di Messina

<sup>(\*\*)</sup> Università di Messina - Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Chimica e Ingegneria Industriale

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Libero Professionista - Esperto strutturale

## RIASSUNTO

Secondo la legislazione vigente, sulla sicurezza dei luoghi di lavoro, i datori di lavoro devono sottoporre le attrezzature di lavoro alle verifiche periodiche. Il D.Lgs. 81/08 e s.m.i. definisce come attrezzature di lavoro *qualsiasi macchina, apparecchio, utensile o impianto, inteso come il complesso di macchine, attrezzature e componenti necessari allo svolgimento di un'attività o all'attuazione di un processo produttivo, destinato ad essere usato durante il lavoro.*

Il legislatore, per assicurare il mantenimento nel tempo dei requisiti di sicurezza, ha imposto sia controlli periodici interni all'azienda che attività di verifica che devono essere condotte, con cadenze periodiche variabili, in funzione del livello di rischio associato alla tipologia di attrezzatura, da un minimo di 1 anno ad un massimo di 5 anni, a cura dei Soggetti Abilitati Pubblici o Privati. L'INAIL ed USL/ARPA sono i Soggetti Abilitati titolari del servizio rispettivamente per la conduzione della "prima verifica periodica" e delle successive "verifiche periodiche". In linea generale, le attrezzature di sollevamento con portata superiore ai 200 kg ed i recipienti / tubazioni con pressione superiore ai 0,5 bar sono oggetto di verifiche periodiche.

Queste in particolare prevedono un esame tecnico dello stato di conservazione strutturale ed efficienza dei dispositivi di sicurezza. Le sollecitazioni di esercizio e le condizioni ambientali possono determinare fenomeni corrosivi importanti che degradando progressivamente le caratteristiche strutturali possono causare rotture con conseguenti situazioni di pericolo per persone e cose. L'esperienza permette di evidenziare i particolari costruttivi che presentano localizzazione privilegiata di significativi fenomeni corrosivi (es. corrosione sotto coibente, saldature ad angolo, ecc.).

Nel presente lavoro si esamineranno i singoli requisiti, previsti dalle disposizioni di legislative, che tengono conto del fenomeno della corrosione. Attraverso lo studio di casi reali si classificano i fenomeni corrosivi e si quantificano le conseguenze sulla ulteriore esercibilità di attrezzature a pressione e sollevamento.

Da quanto riportato appare evidente l'importanza e l'attenzione riservata, da parte del legislatore, al fenomeno della corrosione in modo tale da definire un sistema che attraverso una filosofia prevenzionistica esamini e valuti le conseguenze di degrado strutturale attraverso una iniziale accurata progettazione e poi un attento e mirato esercizio dell'attrezzatura.

## INTRODUZIONE

Secondo la norma UNI ISO 4306-1<sup>(1)</sup> un apparecchio di sollevamento è definito come: "Un apparecchio a funzionamento discontinuo destinato a sollevare e manovrare nello spazio carichi sospesi mediante gancio o altri organi di presa". Con questa definizione si distingue pertanto il campo degli apparecchi di sollevamento da quello degli impianti di sollevamento quali ascensori e montacarichi. I fenomeni corrosivi si possono manifestare sia sulla struttura portante che sulle funi e catene utilizzate per l'imbracatura e sollevamento dei carichi.

---

1) UNI ISO 4306-1:2010: Apparecchi di sollevamento - Vocabolario - Parte 1: Generalità

Un'attrezzatura in pressione<sup>(2)</sup> è un recipiente<sup>(3)</sup> o una tubazione<sup>(4)</sup> progettata per contenere fluidi (gas o liquidi) ad una pressione differente da quella esterna. Solitamente il fluido contenuto dall'attrezzatura è ad una pressione più alta di quella esterna. La differenza di pressione tra interno ed esterno comporta uno stato tensionale; la temperatura influisce sulle caratteristiche meccaniche del materiale impiegato; inoltre, per effetto di eventuali processi corrosivi il materiale metallico può subire un progressivo e irreversibile decadimento delle sue proprietà meccaniche e tecnologiche.

Le condizioni ambientali, ed in particolare i fenomeni di corrosione correlati, sono fattori che condizionano notevolmente la stabilità strutturale delle attrezzature di lavoro.

È noto che la corrosione determina il graduale ed irreversibile deterioramento delle prestazioni con conseguente influenza nelle prestazioni delle attrezzature a pressione e di sollevamento. Pertanto, il legislatore, nelle su citate tipologie di attrezzature, al fine di tutelare i lavoratori nei luoghi di lavoro, ha imposto al fabbricante di scegliere i materiali ed i sistemi di protezione degli stessi più idonei per resistere durante l'esercizio, all'utilizzatore di predisporre ed effettuare appositi sistemi di monitoraggio, ispezione, controllo e registrazione.

## **DISPOSIZIONI RIGUARDANTI L'ESERCIZIO**

La Direttiva europea 89/655<sup>(5)</sup> ed i suoi successivi emendamenti forniscono i requisiti di adeguamento cui debbono soddisfare le attrezzature di lavoro già messe a disposizione dei lavoratori e quindi il minimo livello tecnologico di sicurezza che il datore di lavoro deve assicurare per la sua impresa.

Per le attrezzature a pressione il DM n° 329/04<sup>(6)</sup>, impone prescrizioni (verifiche e controlli) volte a verificare la permanenza dei requisiti essenziali di sicurezza stabilite dal D. Lgs. n° 93/00 (direttiva PED) in fase di costruzione. I recipienti a pressione devono essere dunque eserciti in condizioni di sicurezza al variare dei parametri pressione, temperatura e condizioni ambientali.

In fase di esercizio il DM 329/04 prevede all'art. 4 e 6 che le attrezzature e gli insiemi installati ed assemblati dall'utilizzatore sull'impianto siano soggetti alla verifica per la messa in servizio<sup>(7)</sup>. Nel caso di condizioni ambientali chimico fisiche favorevoli a fenomeni corrosivi è necessario evidenziare le soluzioni adottate per prevenire e monitorare il suddetto processo di deterioramento. L'utente, naturalmente, deve tenere conto delle eventuali prescrizioni definite dal fabbricante nel libretto d'uso e manutenzione. La suddetta normativa impone inoltre, al fine di controllare il livello di stabilità dell'attrezzatura, la verifica di integrità con periodicità decennale. Tale verifica è basata sull'esito di controlli del tipo non distruttivo (es. esame visivo più esame spessimetrico ultrasonoro). Per ciò che riguarda la riqualificazione periodica<sup>(8)</sup> (art. 10 comma 3), la frequenza delle verifiche va comunque modificata in modo restrittivo qualora il fabbricante delle singole attrezzature, nel manuale d'uso e manutenzione, indichi periodicità di interventi inferiori che tengono in considerazione il problema della corrosione ed erosione. Le attrezzature che sono soggette a fenomeni corrosivi non possono essere escluse dalla riqualificazione periodica (art. 11 comma 1 punto a).

Ai sensi del D.Lgs. 81/08, integrato dal D.Lgs. 106/09, il datore di lavoro deve mettere a disposizione dei lavoratori attrezzature conformi ai requisiti di sicurezza (secondo quanto previsto

---

2) Attrezzature a pressione: D. Lgs. n° 93/2000 art. 1 (punto 2.1).

3) Recipiente: D. Lgs. n° 93/2000 art. 1 (punto 2.1.1).

4) Tubazione: D. Lgs. n° 93/2000 art. 1 (punto 2.1.2).

5) Direttiva 89/655/CEE del Consiglio, del 30 novembre 1989, relativa ai requisiti minimi di sicurezza e di salute per l'uso delle attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori durante il lavoro (seconda direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE). Gazzetta ufficiale n. L 393 del 30/12/1989

6) Prima dell'entrata in vigore del DM 329/04 (12/02/2005) le verifiche periodiche (visita interna, prova idraulica e verifica decennale) sulle apparecchiature a pressione erano regolamentate dal R.D. 12/05/27, n° 824 e dal DM 21/05/74.

7) La verifica, effettuata su richiesta dell'azienda utilizzatrice, riguarda l'installazione ed esercizio dell'attrezzatura o impianto a pressione (accertamento della corretta installazione; verifica di corretto utilizzo; esistenza, idoneità e funzionalità dei dispositivi sicurezza).

8) Per verifiche di riqualificazione s'intendono: a) verifiche d'integrità come definite all'articolo 12 del DM 329/04; b) verifiche di funzionamento come definite all'articolo 13 del DM 329/04.

dall'articolo 70); inoltre, dette attrezzature devono essere utilizzate conformemente alle disposizioni legislative di recepimento delle Direttive comunitarie. Dette attrezzature, se contemplate nell'allegato VII, devono essere sottoposte a verifiche periodiche volte a valutarne l'effettivo stato di conservazione e di efficienza ai fini della sicurezza, con la frequenza indicata nel medesimo allegato. In particolare il datore di lavoro - come previsto dall'art. 71, comma 8 del suddetto decreto, provvede affinché:

- a) le attrezzature di lavoro la cui sicurezza dipende dalle condizioni di installazione siano sottoposte a un controllo iniziale (dopo l'installazione e prima della messa in esercizio) e ad un controllo dopo ogni montaggio in un nuovo cantiere o in una nuova località di impianto, al fine di assicurarne l'installazione corretta e il buon funzionamento;
- b) le attrezzature soggette a influssi che possono provocare deterioramenti suscettibili di dare origine a situazioni pericolose siano sottoposte: 1) ad interventi di controllo periodici, secondo frequenze stabilite in base alle indicazioni fornite dai fabbricanti, ovvero dalle norme di buona tecnica, o in assenza di queste ultime, desumibili dai codici di buona prassi; 2) ad interventi di controllo straordinari al fine di garantire il mantenimento di buone condizioni di sicurezza, ogni volta che intervengano eventi eccezionali che possano avere conseguenze pregiudizievoli per la sicurezza delle attrezzature di lavoro, quali riparazioni trasformazioni, incidenti, fenomeni naturali o periodi prolungati di inattività;
- c) gli interventi di controllo di cui alle lettere a) e b) sono volti ad assicurare il buono stato di conservazione e l'efficienza a fini di sicurezza delle attrezzature di lavoro e devono essere effettuati da persona competente.

Le modalità per effettuare le verifiche periodiche sono definite nell'allegato II del D.M. 11 aprile 2011<sup>9)</sup>. Le attrezzature di lavoro di cui all'allegato VII del D.Lgs. 81/08 vengono suddivise nei seguenti gruppi:

- Gruppo SC - Apparecchi di sollevamento materiali non azionati a mano ed idroestrattori a forza centrifuga (tra cui apparecchi di sollevamento materiali mobili, trasferibili e fissi, di portata superiore a 200 kg);
- Gruppo SP - Sollevamento persone (scale aeree, ponti mobili sviluppabili su carro, piattaforme di lavoro, ... );
- Gruppo GVR - Gas, Vapore, Riscaldamento (attrezzature a pressione, ..).

Particolare importante da evidenziare nel caso delle verifiche periodiche su gru mobili, sulle gru trasferibili e sui ponti sviluppabili su carro ad azionamento motorizzato, sono le risultanze delle indagini supplementari effettuate secondo le norme tecniche e finalizzate ad individuare eventuali vizi, difetti o anomalie, prodottisi nell'utilizzo dell'attrezzatura di lavoro messa in esercizio da oltre 20 anni, nonché a stabilire la vita residua in cui la macchina potrà ancora operare in condizioni di sicurezza con le eventuali relative nuove portate nominali. Tali risultanze devono essere esibite dal datore di lavoro al funzionario incaricato della verifica.

## **CASI SPECIFICI DI CORROSIONE**

In funzione delle condizioni ambientali di installazione e delle sollecitazioni connesse all'esercizio le attrezzature di lavoro sono soggette principalmente a diverse tipologie di corrosione tra cui la corrosione per fatica, corrosione superficiale (es. sotto coibente, generalizzata, ecc.), corrosione interstiziale.

Particolarmente significativa è la corrosione per fatica (stress corrosion), che si manifesta per la contemporanea presenza di sforzi meccanici ed ambiente di tipo aggressivo.

Il fenomeno del danneggiamento incrementale a fatica è in questo caso accelerato dal processo di corrosione, instaurato dall'ambiente aggressivo, che degrada il metallo; a sua volta il processo di

---

9) Decreto Ministeriale 11 aprile 2011 – “Disciplina delle modalità di effettuazione delle verifiche periodiche di cui all'All. VII del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, nonché i criteri per l'abilitazione dei soggetti di cui all'articolo 71, comma 13, del medesimo decreto legislativo”.

corrosione è reso più rapido dalle modificazioni strutturali generate nel metallo dagli sforzi meccanici, che espone alla corrosione materiale non ossidato più velocemente.

Le fasi tipiche di questo processo sono tre: nucleazione e coalescenza delle cricche, propagazione lenta della crepa, rottura. La fase di rottura, può presentare le caratteristiche di rottura duttile o fragile in funzione della resilienza più o meno grande del materiale considerato.

In riferimento a quanto suddetto, vengono riportate di seguito alcuni esempi concreti di considerazioni tecniche finalizzate all'ulteriore esercibilità di attrezzature di lavoro soggette a fenomeni di corrosione.

### Caso A - discontinuità da HIC, dovute ad ambienti con wet H<sub>2</sub>S

Trattasi di un'attrezzatura a pressione esercita in ambiente di H<sub>2</sub>S umido, e dunque soggetta a particolari fenomeni di danneggiamento tipo HIC<sup>(10)</sup> (Hydrogen Induced Cracking), caratterizzato laminazioni e step wise cracking.

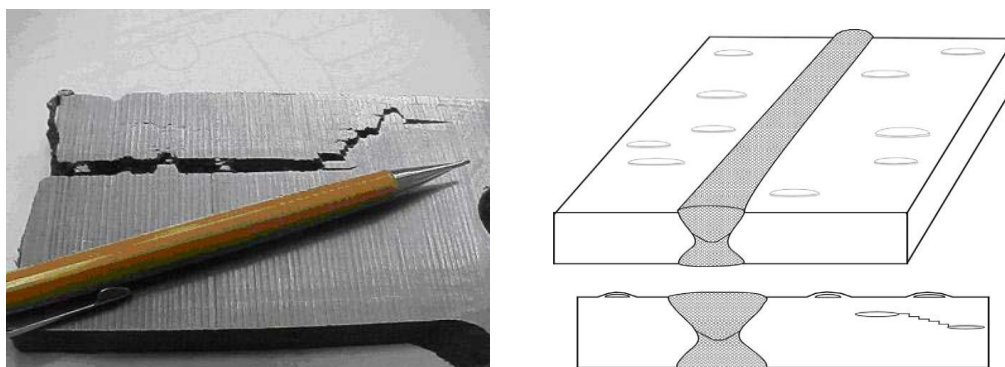
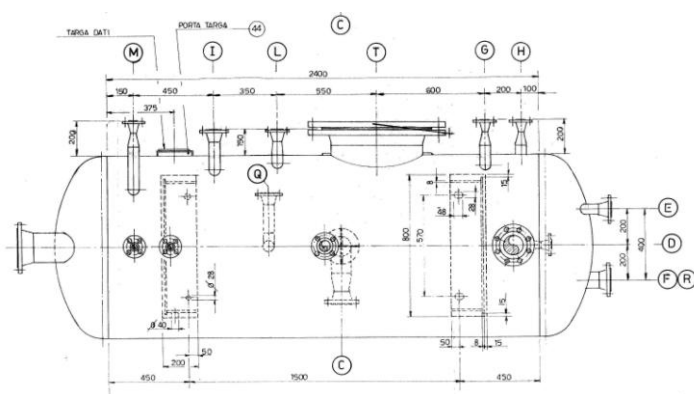


Fig. 1 - Tipici esempi di HIC e Blistering



L'apparecchiatura è un separatore orizzontale costituito da n° 1 virole cilindrica centrale, chiusa da due fondi bombati.

Dati:

Pressione di progetto: 7 barg

Temperatura di progetto: 90,0 °C

Fluido LM: Seal Water

Materiale: ASTM A 516 Gr. 70

Spessore: 10 mm

Fig. 2 – Rappresentazione geometrica e caratteristiche del separatore

I controlli non distruttivi, secondo metodica Phased-Array<sup>(11)</sup>, condotti sulle virole hanno evidenziato la presenza di indicazioni interne al materiale ed hanno permesso la localizzazione ed il

10) Per HIC si intende la formazione di fratture interne indotte da idrogeno aventi forma a gradino che interconnettono blisters da idrogeno adiacenti su differenti piani. In questo caso non è necessaria la presenza di stati di sollecitazione. Lo sviluppo di fratture interne tende a favorire, nell'acciaio, il collegamento ad altre fratture per effetto di un meccanismo di scorrimento plastico transgranulare conseguente all'elevata pressione risultante dall'accumulo di idrogeno. L'HIC è tipico di acciai con elevato grado di impurezze, un'elevata densità di inclusioni planari e/o regioni con microstruttura anomala prodotta dalla segregazione di impurezze o elementi alliganti.

11) La caratteristica principale della tecnologia Phased Array (PA) è quella di utilizzare sonde a matrice, composte da un numero variabile di singoli cristalli, che utilizzano l'interferenza di fase risultante dal tempo di emissione degli

dimensionamento dei difetti. In particolare nella lamiera della virola sono state rilevate molte indicazioni a metà dello spessore; si rilevano delle unioni tra difetti paralleli alla superficie con conseguente incremento dimensionale del difetto sia in lunghezza che in larghezza. Le indicazioni registrate evidenziano l'andamento di alcuni Step-Wise Cracks con sfondamento sulla superficie interna. Si rilevano delle variazioni in altezza degli Step-Wise Cracks tra 1,0 e 2,9 mm.

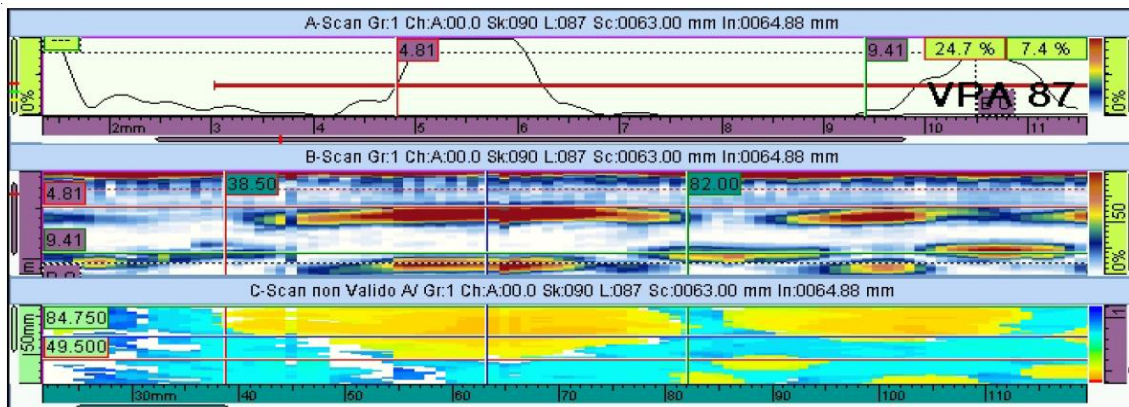


Fig. 3 – Rappresentazione controllo ad ultrasuoni con sistema phased array con scansione lineare. Esito: L'indicazione sotto riportata ha una lunghezza di 43,5 mm, è larga 35,2mm ad una profondità di 4,8 mm su uno spessore rilevato di 9,4 mm

Le valutazioni tecniche sono state effettuate conformemente alla normativa API 579-1 ASME FFS-1-2007, allo scopo di verificare l'accettabilità o meno dei difetti riscontrati secondo i criteri espressi dalla suddetta norma. Attraverso la metodica Fitness For Service (FFS) è possibile mantenere in esercizio, con un accurato monitoraggio, le attrezzature a pressione che presentano un degrado strutturale.

La Virola contenente i difetti è stata studiata secondo il Livello 2 della Part 7 "Assessment of Hydrogen Blistering and Hydrogen Damage Associated with HIC and SOHIC" e, come richiesto dalla stessa, anche secondo il livello 2 della Part 9 "Assessment of Crack-Like Flaws", in quanto si tratta di difetti affioranti. Per la verifica del componente sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato studiato il difetto considerato più critico, quello cioè avente le massime dimensioni (in direzione circonferenziale, longitudinale e nello spessore) rilevate fra tutti;
- Il difetto oggetto di studio è stato assimilato ad una ellisse orientata lungo lo spessore in direzione longitudinale, avente per asse minore la massima profondità rilevata e per asse maggiore la massima lunghezza longitudinale rilevata;
- Il componente è soggetto esclusivamente all'azione dovuta alla pressione interna;
- Non sono presenti carichi secondari;
- Non vi sono elementi che possano favorire la crescita dei difetti (ad es. sulfide stress cracking, fatica, etc.).

Il calcolo condotto secondo il codice API 579-1/ASME FFS-1-2007, ha consentito di valutare la stabilità dell'attrezzatura a pressione in presenza di difettosità. L'apparecchiatura risulta stabile in riferimento ai difetti riportati nei report dei CND condotti secondo la tecnica Phased Array e pertanto ai sensi dell'art. 12 comma 2<sup>(12)</sup> del DM 329/04 può essere mantenuta in esercizio.

---

impulsi per ottenere una direzione e/o una focalizzazione del fascio. In pratica ogni cristallo produce un fronte d'onda che può essere differito nel tempo e sincronizzato in fase ed ampiezza, in modo da formare un unico fascio ultrasonoro del quale si può governare l'apertura angolare e in modo dinamico la focalizzazione, pertanto sia l'angolo di incidenza che la zona di massima risoluzione possono essere modificati in relazione alla geometria del particolare controllato.

12) D.M. 329/04 art. 12 c2 "Ove nella rilevazione visiva e strumentale o solamente strumentale si riscontrano difetti che possono in qualche modo pregiudicare l'ulteriore esercibilità dell'attrezzatura, vengono intraprese, per l'eventuale autorizzazione da parte del soggetto preposto, le opportune indagini supplementari atte a stabilire non solo l'entità del difetto ma anche la sua possibile origine. Ciò al fine di intraprendere le azioni più opportune di ripristino della integrità



	Altezza del difetto [mm]	Lunghezza del difetto [mm]
<b>Dimensioni attuali del difetto considerato più critico</b>	2,4	84,7
<b>Dimensioni limite del difetto</b>	4,8	414,5

Fig. 4 – Dimensioni del difetto determinate mediante CND e calcolo FFS

### Caso B - corrosione interstiziale su struttura portante dell'attrezzatura di sollevamento

La corrosione interstiziale (crevice), ossia quella particolare forma di corrosione che si instaura in prossimità di interstizi, giunture o altre zone in cui la conformazione geometrica del metallo renda localmente difficoltoso l'apporto di ossigeno. Nel processo che porta alla corrosione interstiziale si distinguono due fasi: l'innescio e la propagazione.

Durante la prima fase si osserva la corrosione generalizzata dalla zona attorno all'interstizio, una volta che l'eventuale strato protettivo del metallo (vernice, zincatura, agenti passivanti) è stato localmente compromesso. In questa fase iniziale la corrosione procede grossomodo uniformemente su tutta la superficie interessata.

Durante la fase di propagazione, accanto alla corrosione generalizzata della zona si osserva una accelerazione del processo in corrispondenza dell'interstizio in cui, proprio a causa della configurazione geometrica, risulta difficile l'approvvigionamento di ossigeno che sostiene la reazione di ossidazione del metallo. In queste condizioni, all'interno dell'interstizio, la reazione chimica di ossidazione cambia natura divenendo reazione elettrochimica a causa del trasporto elettroforetico degli anioni presenti in soluzione, resi disponibili dall'ossidazione del metallo circostante.

Come conseguenza, all'interno dell'interstizio, dove si concentra e si sviluppa la reazione anodica, si formano idrossidi insolubili e ioni  $H^+$  liberi, che causano la diminuzione del pH e l'incremento della velocità di depauperazione del metallo (in forma di idrossido), che viene continuamente estratto per via elettrolitica dall'ambiente anodico dell'interstizio, causandone la crescita.

Il caso in esame si riferisce ad una gru a cavalletto asimmetrica (zoppa), risalente al 1970, installata all'interno di una centrale termoelettrica al servizio di due gruppi turboalternatore a ciclo Rankine.

La gru, utilizzata solo durante le manutenzioni programmate del turboalternatore, è situata a non più di 250 m dal mare e si trova accanto al generatore di vapore.

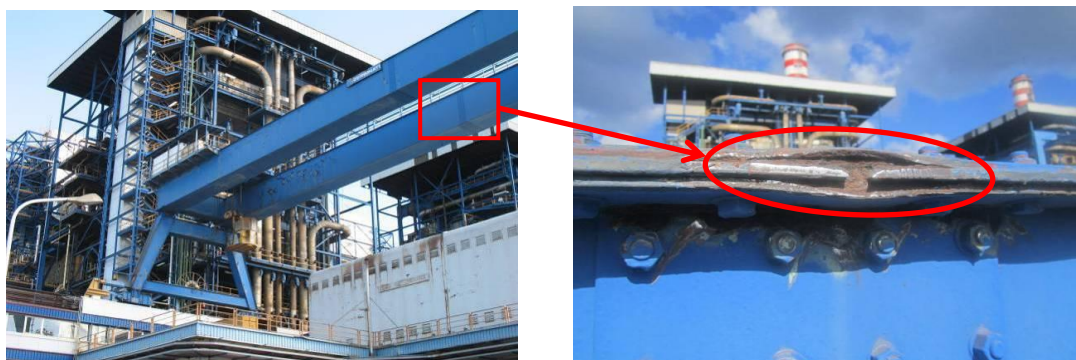


Fig. 5: Posizione del giunto interessato al fenomeno di corrosione interstiziale

La presenza contemporanea dei fumi di combustione della caldaia e della salsedine (il cui componente salino principale è il cloruro di sodio) rendono l'ambiente aggressivo e predispongono le strutture metalliche alla corrosione. In particolare, la presenza di giunti bullonati di accoppiamento delle membrature strutturali della macchina hanno favorito l'instaurarsi di fenomeni

---

strutturale del componente, oppure a valutarne il grado di sicurezza commisurato al tempo di ulteriore esercibilità con la permanenza dei difetti riscontrati”.

di corrosione interstiziale, sviluppatasi appunto nelle fessure fra le lamiere sovrapposte del giunto bullonato, non appena la verniciatura a smalto ha ceduto per l'effetto combinato degli agenti atmosferici.

In figura n°5 sono riportate due immagini della gru in oggetto, dove è indicato uno dei giunti bullonati interessati dal fenomeno della corrosione interstiziale.

Il giunto interessato è stato pulito meccanicamente e sottoposto sia a CND magnetoscopico (per verificare la presenza di eventuali cricche o discontinuità nel cordone di saldatura delle lamiere verticali ed orizzontali della trave principale, a destra e a sinistra del giunto bullonato), che alla misurazione locale dello spessore delle lamiere con spessimetro ad ultrasuoni per valutare lo spessore del materiale residuo. In figura 6 è mostrato lo schema del giunto affetto dalla corrosione.

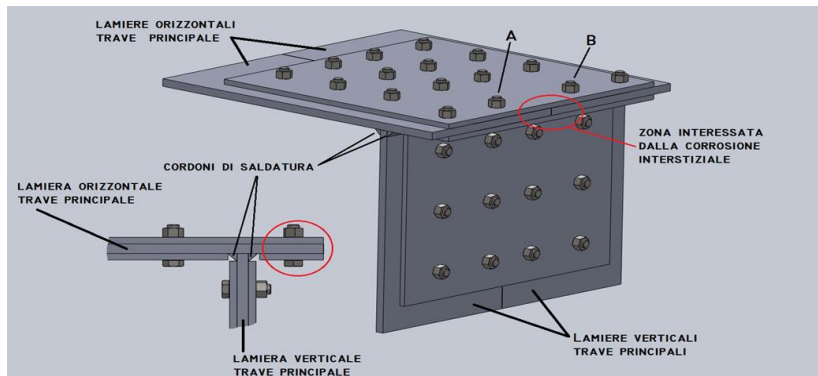


Fig. 6: schema della zona interessata dalla corrosione interstiziale

L'esito del controllo magnetoscopico della saldatura non ha mostrato alcun indizio di compromissione del cordone di saldatura e della zona termicamente alterata circostante. In particolare, le poche indicazioni emerse, per lo più lineari, sono risultate essere tutte al di sotto dei 2 mm di lunghezza.

La norma UNI EN ISO 23278:2009 "Controllo con particelle magnetiche delle saldature", nella tabella A1, fissa i parametri raccomandati per la determinazione dei livelli di accettabilità per il controllo magnetoscopico della saldatura e del materiale circostante; per il caso in questione, dato lo stato della superficie e delle saldature si ritiene appropriato il livello di accettabilità 2, a cui corrisponde, in tabella 1 una lunghezza limite per le indicazioni lineari  $L \leq 3$  mm e per le indicazioni non lineari  $d \leq 3$  mm.

La misurazione degli spessori delle lamiere ne ha evidenziato una notevole diminuzione (fino al 50% dello spessore originale) limitatamente alla sola zona interessata alla corrosione, indicata dai cerchi rossi in figura 6, labbro esterno del giunto, compresa fra i bulloni A e B. In particolare, solo le lamiere di sovrapposizione sono state interessate dalla corrosione (e dalla deformazione dovuta al rigonfiamento conseguente all'ossidazione del metallo), mentre le lamiere della trave principale hanno evidenziato una diminuzione massima dello spessore pari al 6% circa solo laddove è venuta a mancare la pitturazione e la corrosione ha potuto così agire.

La norma relativa ai controlli spessimetrici prevede una depauperazione massima del 10% dello spessore della lamiera quale limite di accettabilità sicché, considerato anche l'esito del CND magnetoscopico, non sono stati consigliati trattamenti di ripristino ma solo l'esecuzione di una pulizia meccanica approfondita, atta all'eliminazione del metallo ossidato, seguita da un trattamento passivante con prodotti adeguati (convertitore di ruggine) e successivo rivestimento con vernice inorganica (smalto) atto all'isolamento del materiale dall'ambiente esterno.

### Caso C - corrosione per fatica

Il presente caso si riferisce ad una gru a ponte bitrave, risalente al 1972, installata presso un cantiere navale.

La gru, utilizzata durante le operazioni di alaggio e varo delle imbarcazioni, è installata su vie di corsa posizionate direttamente in corrispondenza della battigia (figura n°7).

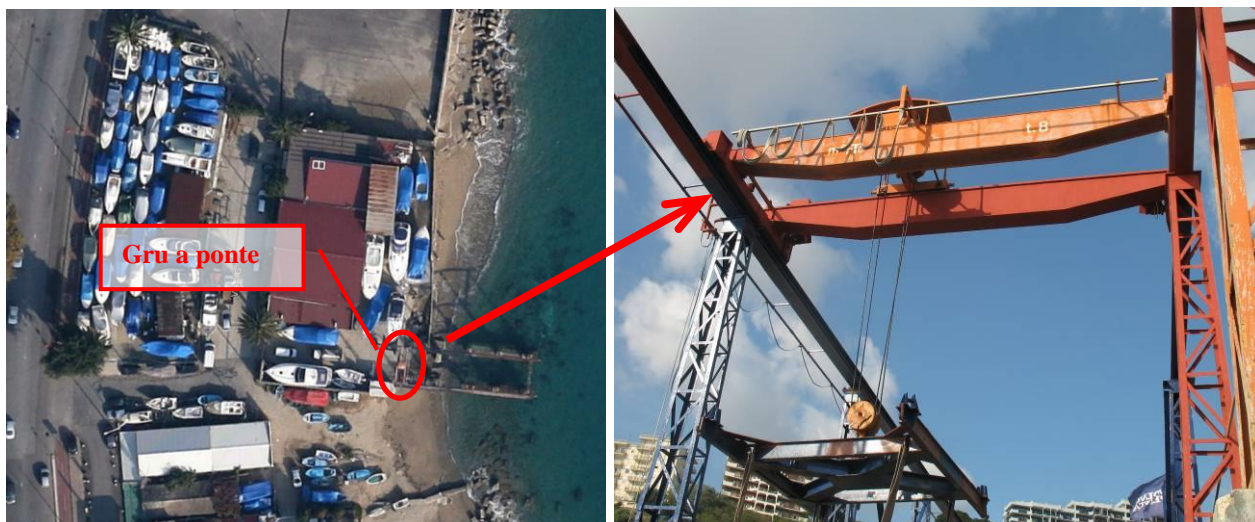


Fig. 7: posizione dell'apparecchio di sollevamento

La posizione dell'apparecchio di sollevamento, esposto da alcuni decenni all'azione quotidiana diretta della radiazione solare, della salsedine e dell'acqua di mare, denota anche in questo caso l'aggressività dell'ambiente circostante nei confronti delle strutture metalliche relativamente ai fenomeni di corrosione. La corrosione per fatica si è manifestata in questo caso in corrispondenza dei punti di saldatura fra le vie di corsa del carrello porta argano e le lamiere estradossali delle travi principali.

In figura n°8 sono riportate due immagini della gru a ponte, dove sono visibili i fenomeni di corrosione, manifestatisi in corrispondenza dell'interfaccia fra le vie di corsa e le superfici orizzontali superiori che costituiscono le travi principali.

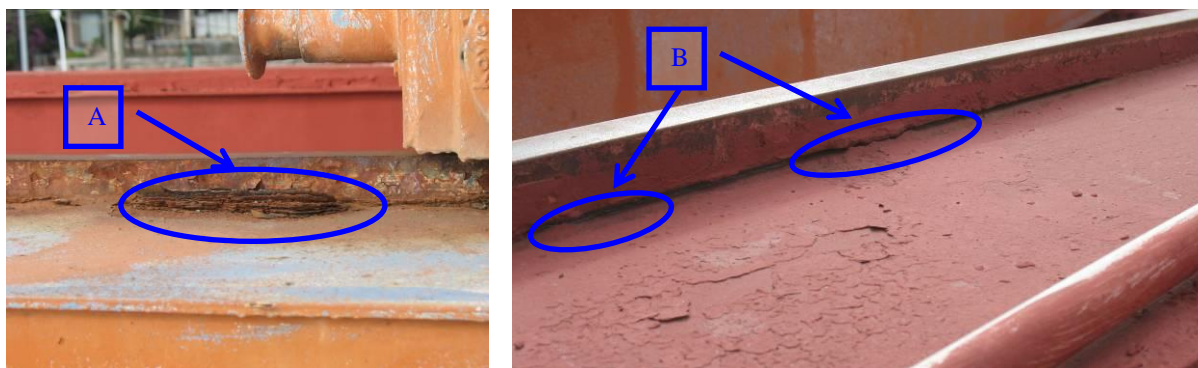


Fig. 8: Difetti riscontrati (corrosione interstiziale [A] – Corrosione a fatica [B])

Come si vede in figura 8, su entrambi i quadrelli che costituiscono le vie di corsa del carrello si sono manifestati fenomeni di corrosione: in un punto della via di corsa lato mare [A] è visibile una sfogliatura del materiale che denota un fenomeno di corrosione interstiziale, fenomeno già trattato precedentemente, mentre in qualche punto della via di corsa lato monte [B] sono visibili alcune rotture a fatica per corrosione dei punti di saldatura fra il quadrello stesso e la sottostante lamiera.

La sollecitazione di fatica causata dal passaggio del carrello carico che induce una deformazione di flessione è trasmessa dal quadrello alla lamiera estradossale attraverso i punti di saldatura che vengono così a costituire punti di concentrazione delle tensioni dove, localmente, il limite di fatica del materiale è facilmente superato ed il materiale subisce il danneggiamento a fatica, accelerato dalla corrosione indotta dall'aggressività dell'ambiente circostante.

Preliminarmente ai controlli entrambe le zone sono state pulite prima meccanicamente, poi con diluente per smalto per eliminare tutte le tracce dei molti strati di smalto presenti e sottoposto sia a



CND magnetoscopico che a misurazione locale dello spessore delle lamiere con spessimetro ad ultrasuoni.

L'esito del controllo magnetoscopico delle saldature sane e delle zone termicamente alterate dei cordoni rotti ha mostrato delle indicazioni lineari multiple, di dimensioni comprese entro i 2 mm di lunghezza aventi mutua distanza dello stesso ordine di grandezza rispetto alle dimensioni delle indicazioni stesse.

La norma UNI EN ISO 23278:2009 "Controllo con particelle magnetiche delle saldature", nella tabella A1, fissa i parametri raccomandati per la determinazione dei livelli di accettabilità per il controllo magnetoscopico della saldatura e del materiale circostante; per il caso in questione, dato lo stato della superficie e delle saldature si ritiene appropriato il livello di accettabilità 2, a cui corrisponde, in tabella 1 una lunghezza limite per le indicazioni lineari  $L \leq 3$  mm e per le indicazioni non lineari  $d \leq 3$  mm.

La misurazione degli spessori delle lamiere ne ha evidenziato una cospicua diminuzione (fino al 20% dello spessore originale) limitatamente alle sole zone depresse lungo le vie di corsa del carrello porta argano, indicate dai cerchi blu in figura 8, laddove il limite di accettabilità della diminuzione massima ammessa è del 10% dello spessore della lamiera.

In considerazione del risultato dei controlli è stato consigliato un intervento radicale di ripristino della lamiera superiore tramite aggiunta di un piatto del medesimo spessore e saldatura continua delle vie di corsa del carrello alle nuove lamiere, seguito da un rivestimento con vernice inorganica (smalto) atto all'isolamento del materiale dall'ambiente esterno, previa applicazione di un primer adeguato.

## CONCLUSIONI

Al fine di garantire un monitoraggio accurato del fenomeno corrosivo, con particolare riferimento alle attrezzature a pressione che operano con fluidi del gruppo 1<sup>(13)</sup>, è opportuno da parte dell'utente attuare indagini ispettive periodiche. Di seguito si descrive una semplice ed efficace linea guida operativa per l'utilizzatore.

All'acquisto dell'attrezzatura, e prima della messa in servizio, effettuare un controllo spessimetrico al fine di conoscere lo spessore effettivo delle membrature (nella pratica non è difficile riscontrare differenze tra le dimensioni effettive ed i dati previsti a progetto). Successivamente, dopo circa 4 – 6 anni (nel caso di industrie del settore petrolchimico tale periodo coincide con la fermata dell'impianto per gli interventi di manutenzione programmata) ripetere il controllo visivo e spessimetrico. Questa verifica permette di determinare la velocità di corrosione ed ipotizzare l'ulteriore vita utile dell'attrezzatura. Se il degrado è superiore al 30% del margine di corrosione previsto dal progettista, si ritiene fondamentale ripetere entro il decimo anno di esercizio il controllo spessimetrico. Una campagna preventiva di indagini difettoscopiche permette di controllare la stabilità dell'apparecchiatura anche in anticipo rispetto alla periodicità base definita dal legislatore. Legislatore che pone, come detto in precedenza, un vincolo massimo di 10 anni alla verifica di integrità, in quanto demanda al costruttore la definizione di periodi più brevi qualora il materiale impiegato possa essere soggetto ad evidenti degradi delle caratteristiche meccaniche nelle condizioni ambientali in cui viene esercito.

Per quanto concerne la verifica delle apparecchiature di sollevamento, il riferimento normativo principale è certamente il recente D.L. n° 11/2011 che disciplina l'effettuazione di quanto previsto dal D.L. n° 81/2008 che, al comma 11 dell'art. 71, implementato con quanto il successivo D.L. 106/2009, prescrive l'effettuazione e fissa la frequenza delle "verifiche periodiche" finalizzate a "valutare l'effettivo stato di conservazione e di efficienza ai fini della sicurezza". In tal senso, notevole importanza riveste anche l'istituto della "indagine supplementare", finalizzata alla "individuazione di eventuali vizi, difetti o anomalie, prodottisi nell'utilizzo dell'attrezzatura da lavoro in esercizio da oltre

---

13) Fluidi del gruppo 1 ai sensi del D. Lgs. n° 93/00 comprendono i fluidi classificati come pericolosi ai sensi dell'articolo 2, comma 2, del D. Lgs. n° 52/97 (esplosivi, estremamente infiammabili, facilmente infiammabili, infiammabili, altamente tossici, tossici, comburenti).

20 anni” oltre che – aspetto particolarmente importante – nella determinazione della “vita residua in cui la macchina potrà ancora operare in condizioni di sicurezza con le eventuali relative nuove portate nominali”. I controlli a cui le apparecchiature di sollevamento devono essere sottoposte sono elencati nella norma UNI ISO 9927-1.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Decreto Legislativo n° 93 del 25 febbraio 2000 – "Attuazione della direttiva 97/23/CE in materia di attrezzature a pressione"
- [2] Decreto Ministeriale n° 329 del 01 dicembre 2004 – “Regolamento recante norme per la messa in servizio ed utilizzazione delle attrezzature a pressione e degli insiemi di cui all’art.19 del decreto legislativo 25/02/2000, n° 93”
- [3] Decreto Ministeriale 11 aprile 2011 – “Disciplina delle modalità di effettuazione delle verifiche periodiche di cui all’All. VII del decreto legislativo 9 aprile 2008, n° 81. nonché i criteri per l’abilitazione dei soggetti di cui all’articolo 71, comma 13, del medesimo decreto legislativo”
- [4] EN 13445, “Recipienti a pressione non sottoposti a fiamma”, 2002
- [5] Megyesy, E. F., “Pressure Vessel Handbook”, 1986
- [6] OSHA Instruction Pub 8-1.5, “Guidelines for Pressure Vessel Safety Assessment”, 1989
- [7] Howells, Merwyn,; Prairieville, Sitar; Bruce; Reames, Michael, “Method for detecting corrosion in industrial process equipment”, 2006
- [8] Spence J & Tooth AS ed&, “Pressure Vessel Design: Concepts & Principles”, 1994
- Piccaglia De Eccher, “Attrezzature di lavoro, orientarsi tra manutenzioni, verifiche e controlli, Ambiente & Sicurezza sul Lavoro, luglio 2011
- Francesco Taurasi, “Verifiche periodiche - guida alla gestione delle attrezzature”, Ambiente & Sicurezza sul Lavoro, gennaio 2012
- [9] API 579, “Recommended practice for fitness-for-service”, American Petroleum Institute, 2000
- API 579-1 ASME FFS-1, “Fitness-for-service”, American Petroleum Institute, 2007
- [10] API 571, “Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry”, American Petroleum Institute, 2003
- [11] F. Giacobbe, et al., "Maintenance engineering: case study of fitness for service assessments", International Conference On Engineering Design, ICED11, 2011
- [12] UNI EN ISO 23278, “Controllo con particelle magnetiche delle saldature”, 2009