

PROCEDURE DI INTERVENTO SUI GRUPPI DI AGGANCIO DELLA BARRIERA DI LIDO TREPORTI

Premessa

I gruppi in oggetto sono costituiti, limitatamente a quanto di interesse primario ai fini della presente relazione, dalle seguenti parti:

- valvola di segregazione,
- carter di tenuta stagna
- stelo di aggancio costituito da una parte cilindrica filettata ad una estremità e terminante all'altra estremità con un dispositivo di aggancio di forma a martello,
- dispositivo di rotazione dello stelo

Valvola di segregazione e carter di tenuta sono costruiti in acciaio AISI 316 L, mentre stelo e mandrino sono di acciaio bonificato nichelato in bagno chimico.

La nichelatura è stata eseguita nel 2011 e tutta la fornitura è accompagnata da certificati di collaudo rilasciati dal nichelatore attestanti la conformità del rivestimento per quanto riguarda composizione chimica (fosforo ed impurezze), spessore misurato su un contro campione in acciaio, adesione valutata mediante scraper. Per quanto riguarda la porosità la sua assenza risulta certificata con certificato n. CAM/2011/1826 relativo agli steli n 2-3-15-17-19-23-28 a seguito di controllo con il test del ferroxyl.

Azioni intraprese

Come si ricava dalla *relazione tecnica della DL redatta a seguito delle prove disposte sulle nichelature dei componenti i gruppi di aggancio e tensionamento di Treporti*, al fine di verificare se sugli elementi nichelati il deposito corrispondesse a quanto riportato nei certificati di collaudo, è stato disposto un controllo a campione su alcuni componenti disponibili presso l'officina della FIP. Tale controllo ha evidenziato le seguenti anomalie: differenze di colore, differenze di spessore, piccoli distacchi di nichel alle filettature al momento del collaudo.

A seguito di queste osservazioni la DL, pur riscontrando la conformità dei certificati emessi dal nichelatore rispetto alle specifiche di progetto, decideva di assumere come riferimento la norma ASTM B 733 – UNI EN ISO 4527, disponeva l'esecuzione di ulteriori indagini volte ad accertare se le caratteristiche chimiche, meccaniche e di adesione fossero effettivamente verificate anche sui componenti dichiarati conformi dal nichelatore. Tali prove, eseguite su campioni ricavati da un anello di ripartizione nichelato, hanno riguardato: caratteristiche magnetiche dei depositi, misure di durezza, prove di piegatura, trattamenti termici. I risultati ottenuti hanno evidenziato alcune criticità del deposito che sono state attribuite alle modalità di esecuzione del trattamento termico post nichelatura eseguito dalla ARGOS. Un sopralluogo presso la stessa ha permesso di constatare come tale trattamento venisse effettuato in modo non controllato. E' stato inoltre riscontrato come anche le misure di durezza Vickers venissero eseguite in modo non appropriato. Tutti questi controlli sono stati accompagnati da prove di laboratorio che hanno permesso di dettare delle linee guida circa la pratica migliore per l'esecuzione del trattamento termico post nichelatura al fine di ottenere un deposito aderente e non fragile.

Quanto su riscontrato ha indotto la DL a disporre l'esecuzione delle seguenti operazioni di implementazione:

- ritrattare termicamente tutti gli elementi nichelati già forniti aventi spessore di 70 µm;
- eseguire le prove di tensionamento-detensionamento al fine di valutare l'adesione del rivestimento. Tali prove hanno evidenziato che il rivestimento non subisce distacchi. Di concerto con i collaudatori statici è stato quindi convenuto che la protezione delle filettature potesse essere affidata all'uso di grasso ramato;

- avviare di concerto con i collaudatori statici l'ottimizzazione del processo di nichelatura per i nuovi elementi da nichelare relativi alle bocche di S. Nicolò, Malamocco e Chioggia.

Stato attuale delle apparecchiature presenti nella barriera di Treporti

A seguito del detensionamento effettuato nel corso di questo anno in periodi successivi, sulla totalità dei gruppi di aggancio, si è potuta riscontrare la presenza di importanti fenomeni di corrosione di tipo ed estensione diversa che interessano, per quanto consentito dall'ispezione visiva, lo stelo nelle sue diverse parti e, in misura nettamente inferiore, le pareti del carter.

Nella relazione redatta dalla Prof. Zanella in data 6 aprile c.a., relativa ai risultati di una ispezione effettuata in data 10 marzo del connettore 1 della paratoia 5, del connettore 2 della paratoia 2 della barriera di Lido Treporti e del connettore 1 della paratoia 3 della barriera di San Nicolò la situazione, adeguatamente documentata da fotografie e corredata dai risultati di analisi EDS e XRD effettuate sui prodotti di corrosione e sui depositi campionati è riassumibile nei seguenti punti:

- *zona tra mandrino e filettatura nella parte terminale dello stelo*: molti prodotti di corrosione, presenza di cloruri, sali costituiti prevalentemente da carbonati e cloruri, sabbia. La corrosione interessa verosimilmente sia la filettatura dello stelo che quella del mandrino. Se ne è dedotto che questa zona sia venuta a contatto con acqua di mare;
- *zona in corrispondenza della piastra*: numerosi segni di corrosione localizzata dovuta a pitting o porosità del rivestimento;
- *zona in corrispondenza della guarnizione in gomma*: marcata corrosione interstiziale;
- *zona immediatamente al di sopra della guarnizione*: corrosione molto avanzata dovuta al ristagno di acqua di mare e relativi depositi;
- *zona corrispondente al fondo del carter*: è la zona più danneggiata a causa della presenza oltre che di acqua, di depositi di tipo sabbioso responsabili di corrosione sotto deposito. In questa zona è stata riscontrata una penetrazione di attacco di 3 mm;
- *zona sovrastante fino alla testa*: sono stati osservati sia pitting che aree di corrosione più diffusa, rigonfiamenti del rivestimento al di sotto dei quali è stato riscontrato attacco corrosivo.

L'entità dei fenomeni è diversa per i due steli di lido Treporti, maggiore in quello della paratoia 5, minore in quello della paratoia 2 dove in particolare il carter è risultato più pulito e meno affetto da corrosione e la zona tra martinetto e fondo dello stelo non è interessata da fenomeni di corrosione. Tutta la superficie è comunque interessata da pitting diffuso.

Il connettore 1 della paratoia 3 della barriera di San Nicola, che non è mai stato a contatto con acqua di mare, in quanto mai agganciato, non presenta segni di corrosione, anche se all'interno del carter si è notata condensazione sulle pareti.

Un report del 14 aprile u.s. redatto dalla MATED, incaricata di fornire un quadro completo della consistenza di tutti i tensionatori della barriera di lido Treporti ha messo in evidenza che:

- nessuno è del tutto esente da corrosione;
- le zone maggiormente interessate sono quelle in corrispondenza della guarnizione e immediatamente al di sopra di essa dove si verifica un ristagno di acqua;
- l'ossidazione superficiale dello stelo è comunque molto diffusa;
- sono frequenti pitting sulla superficie dello stelo e corrosione ai filetti;
- la corrosione della superficie del carter, anche se frequente, è generalmente di entità inferiore rispetto a quella delle superfici nichelate;

Una valutazione globale dell'insieme dei risultati riportati effettuata dallo scrivente mette inoltre in evidenza che:

- l'entità e l'estensione della corrosione non sono chiaramente rapportabili alla quantità di umidità, acqua, depositi organici o inorganici rilevati nel corso delle ispezioni;

- l'entità e l'estensione della corrosione non sono chiaramente rapportabili al periodo della messa in opera e del detensionamento, quindi al tempo di esposizione all'acqua di mare.

Cause ipotizzate come responsabili del deterioramento

Nella sua relazione la Prof. Zanella individua le seguenti cause del deterioramento riscontrato:

- pulizia non adeguata in particolare all'interno del carter;
- presenza di interstizio in corrispondenza della guarnizione;
- ristagno di acqua al di sopra della guarnizione;
- accumulo di sporcizia e di sabbia sul fondo del carter;
- mancanza di ricambio aria e scarsa pulizia del carter;
- procedure di pulizia del carter non adeguate che causano la contaminazione anche di zone che non dovrebbero venire a contatto con acqua di mare, presenza di geometrie che favoriscono il ristagno;
- riduzione della resistenza del nichel chimico a causa del trattamento termico.

Misure suggerite per la normale manutenzione

A conclusione di quanto osservato e di quelle che sono indicate come cause delle diverse forme di corrosione riscontrate, nel report viene suggerito di adottare misure in grado di garantire l'accurato lavaggio di tutte le superfici, l'eliminazione di sabbia, la fuoriuscita di liquidi contaminanti al di fuori del carter e in particolare:

- un sistema di lavaggio delle superfici esposte all'acqua di mare che garantisca la completa rimozione di ogni residuo di acqua di mare e sali anche dalle intercapedini;
- una procedura di scarico che eviti l'esposizione di altre superfici all'acqua di mare;
- eliminazione di ogni possibile situazione di ristagno.

Azioni di ripristino

Visto lo stato di avanzato degrado riscontrato sono state suggerite le seguenti azioni da intraprendere rapidamente:

- *ripristino delle superfici* - Viene proposto di procedere ad una rimozione completa del rivestimento di nichel e del substrato fino ad una profondità tale da eliminare completamente qualunque residuo di corrosione, in particolare per pitting, crevice e ripristinare la nichelatura adottando le procedure impiegate nel caso della barriere di S. Nicolò;
- verifica dello stato del carter ed eventuale ripristino;
- modifica delle geometrie che comportano la formazione di crevice e di ristagni, giudicate critiche indipendentemente dal materiale impiegato.

COMMENTI

Il rapporto della Prof. Zanella, suffragato dall'indagine svolta dalla MATED su tutti i gruppi tensionatori della barriera di Treporti, mentre è del tutto condivisibile per quanto riguarda la descrizione delle diverse forme di corrosione osservate e la loro localizzazione nelle diverse parti del sistema di aggancio, sembra esserlo meno nella identificazione delle cause che li hanno provocati, degli interventi da intraprendere per il ripristino della loro funzionalità e per evitare il loro ripetersi.

Per quanto riguarda le cause l'accento viene essenzialmente messo sul ruolo svolto dalla guarnizione che, in ragione della sua geometria comporta la formazione di un interstizio all'interno del quale si è sviluppata una forma di corrosione molto insidiosa detta appunto interstiziale o crevice corrosion, nonché la formazione di un ristagno dell'altezza di circa 2-3 cm anch'esso causa di corrosione localizzata. Questa situazione è stata ulteriormente

aggravata da procedure inappropriate di svuotamento del carter e della sua pulizia. Queste procedure, essendo responsabili della fuoriuscita di acqua molto ricca di cloruri, sono anche quelle che hanno generato il pitting su molti steli e la corrosione nella zona tra mandrino e filettatura. In questa analisi viene del tutto messo in secondo piano l'aspetto relativo al materiale. Pur affermando che *"E' chiaro che il rivestimento di nichel per quanto resistente non è sufficiente per resistere a condizioni di immersione in acqua salmastra in condizioni di ristagno e crevice"* questo aspetto del problema viene poi del tutto tralasciato partendo dal presupposto che l'eliminazione delle condizioni che inducono crevice e formazione di ristagno/depositi sia sufficiente a risolvere i problemi alla radice e pertanto ripropone come sistema di protezione passiva la nichelatura, purché eseguita secondo le procedure più rigorose già adottate nella barriera di S. Nicolò. Questo suo punto di vista è ulteriormente rafforzato quando, facendo riferimento alle cause su menzionate afferma che *"queste condizioni (presenza di interstizi e ristagni) sono estremamente critiche per la durabilità dei pezzi, indipendentemente dal materiale utilizzato"*.

Al riguardo si osserva che le guarnizioni in genere sono motivo di pericolo in quanto non si può escludere in modo assoluto che diano luogo alla formazione di interstizi. In secondo luogo neanche l'adozione di procedure molto più stringenti di svuotamento e lavaggio del carter possono garantire sul fatto che queste siano sempre eseguite in modo del tutto appropriato e che, per negligenza o disattenzione, non vengano eseguite a regola d'arte. Per quanto riguarda infine l'affermazione che la pericolosità di interstizi/depositi sia critica indipendentemente dal materiale, questa appare piuttosto azzardata dal momento che materiali diversi hanno una diversa resistenza al pitting ed alla crevice e che le prestazioni al riguardo vanno da materiali poco resistenti ad altri estremamente resistenti per non dire totalmente immuni.

Oltre ovviamente a raccomandare l'adozione di procedure di pulizia adeguate, la Prof. Zanella propone di asportare integralmente il rivestimento di nichel e uno spessore di acciaio di base tale da garantire che qualunque pit o altra forma di corrosione sia completamente rimossa, ripristinare la nichelatura, modificare la geometria della guarnizione e il sistema di drenaggio. Si ritiene che gli interventi proposti presentino delle criticità non facilmente risolvibili.

In primo luogo l'asportazione di uno spessore di alcuni mm, si pensi che in alcuni casi la corrosione è penetrata per 3 mm, il che significa che la sua rimozione completa genererebbe una riduzione del diametro di 6 mm, anche nell'ipotesi che sia accettabile da un punto di vista di resistenza meccanica, comporta una modifica radicale delle dimensioni dello stelo che richiederebbe anche il rifacimento del mandrino e di tutte le guarnizioni, forse anche della geometria del carter. Per quanto riguarda le filettature occorrerà accertare con indagini ad hoc il loro stato non appena si sarà provveduto allo smontaggio dei componenti il gruppo d'aggancio n. 32.

In secondo luogo lascia perplessi la riproposizione della nichelatura come barriera nei confronti dell'acqua di mare. A tal riguardo va menzionato che anche a Malamocco, dove sono stati installati tensionatori nichelati con la procedura migliorata, sono comparsi fenomeni di corrosione anche molto rilevanti. Dal momento che nessuna procedura o guarnizione potrebbe escludere il ripetersi delle forme di corrosione riscontrate e che la nichelatura non è stata in grado di fermare, la conferma della sua scelta appare poco convincente. Non si dimentichi che si parla di dispositivi che sono progettati per durare 100 anni.

Ipotesi alternativa di intervento

Considerato che la realizzabilità dell'intervento proposto sugli steli appare problematica e dagli esiti probabilmente incerti, considerate le criticità precedentemente evidenziate relative alla riduzione di diametro dello stelo dell'ordine di diversi mm ed al ripristino della nichelatura, in via al momento ipotetica e da approfondire e sviluppare, si può pensare di intervenire in maniera alternativa sostituendo la nichelatura con un materiale più resistente

ed in grado di dare garanzie effettive anche per moltissimi anni e nelle condizioni più avverse. Questo materiale potrebbe essere applicato con idonea tecnologia di saldatura, in spessore tale da ripristinare la geometria di progetto. Il vantaggio di questo modo di procedere, ove verificata la sua applicabilità nel caso in specie, avrebbe il duplice vantaggio di non modificare in nulla le geometrie esistenti e di garantire una resistenza all'acqua di mare molto superiore a quella offerta da nichel chimico. Mentre in questo secondo caso gli interventi volti ad eliminare interstizi, ristagni, travasi al di fuori del carter sarebbero imprescindibili ai fini di un buon comportamento dello strato di nichel, cosa comunque tutta da dimostrare ed attualmente non corroborata dai fatti, con l'adozione di un rivestimento fatto con un materiale molto più resistente diventerebbero una condizione auspicabile ma non indispensabile. L'operazione descritta andrebbe effettuata anche su tutti i mandrini, indipendentemente dal loro stato ad evitare accoppiamenti di materiali diversi.

Il cladding mediante saldatura di acciai al carbonio o basso legati con leghe molto più nobili è pratica largamente diffusa da molti anni nell'industria petrolifera, petrolchimica, nucleare, negli impianti che sono a contatto permanente o intermittente con acque salmastre, marine o salamoie. Il vantaggio è di associare la resistenza meccanica offerta dall'acciaio di base a quella alla corrosione garantita dal materiale di rivestimento, senza ricorrere ad un uso in bulk di quest'ultimo, riducendo così sensibilmente il costo.

Come rivestimento anticorrosione si possono usare sia acciai inossidabili, in particolare duplex quali il 2205 (F51) o il 2507 (F53), o superleghe di nichel quale l'Inconel 625. Queste diverse leghe, caratterizzate tutte da un'ottima combinazione di resistenza meccanica, tenacità e saldabilità, garantiscono, anche se in misura diversa, un ottimo comportamento nei confronti della corrosione da cloruri, in particolare interstiziale, per pitting, sotto sforzo e fatica. La resistenza al pitting e quindi alla corrosione interstiziale, comunemente espressa dal PREN (pitting rate equivalent number) cresce dalla 2205 (PREN 34), alla 2507 (PREN 41) all'inconel 625 (PREN 51) per il quale ultimo l'attacco dentro interstizio e per pitting al di sotto di 50°C può essere considerato nullo.

Le loro proprietà meccaniche sono riassunte in tabella.

LEGA	FORMA E CONDIZIONE	RESISTENZA A ROTTURA (MPa)	SNERVAMENTO (0,2) (MPa)	ALLUNGAMENTO %	DUREZZA
F51	ricotto	680 - 880	485 min	25 min	HRC 25 max
F53	ricotto	800 - 1000	550 min	25 min	
INCONEL 625	lamiera stato ricotto	827 - 1034	414 - 621	55 - 30	145 - 240 HB

Tutti questi materiali sono saldabili con tecniche convenzionali quali GTA, GMA, SA.

Considerato quanto su esposto in linea di principio non ci dovrebbero essere problemi insormontabili per impiegare un rivestimento a spessore applicato per saldatura. Ovviamente una tale ipotesi richiede un approfondimento legato alle condizioni specifiche degli steli dei gruppi di aggancio. Le problematiche da affrontare riguardano la scelta della tecnologia di deposizione più adatta, l'eventuale necessità di un trattamento termico di preriscaldamento del materiale base, lo spessore che può essere depositato, il numero di passate, i parametri di saldatura, anche perché questi determinano la quantità di calore trasmessa al metallo base. E' prevedibile che l'innalzamento di temperatura indotto dal processo di saldatura sul metallo base dia luogo ad un rinvenimento della bainite, microstruttura tipica degli acciai bonificati, con formazione di perlite di estensione e dimensione diversa in relazione al profilo di temperatura raggiunto in fase di riscaldamento e della velocità di raffreddamento. Dal momento che bainite e perlite più o meno fine hanno proprietà meccaniche diverse, va verificato se e in che misura questa variazione microstrutturale può modificare il

comportamento meccanico, anche se si può inizialmente pensare che non dovrebbe essere significativa. Un altro aspetto da prendere in considerazione è l'effetto che un intervento di questo tipo potrebbe avere da un punto di vista strutturale sulla filettatura.

Ovviamente non da ultimo va considerato il costo dell'intervento. A tal fine si possono fare le considerazioni seguenti. I costi di smontaggio, trasporto, asportazione del rivestimento sarebbero uguali sia nel caso di ripristino della nichelatura sia in quello di riporto mediante saldatura. In questo secondo caso in realtà potrebbe esserci un vantaggio. Mentre nel primo caso la profondità di metallo asportato e da riportare dovrebbe essere uguale per tutti gli steli e pari alla massima profondità di attacco riscontrata anche in uno solo di essi, nel secondo si potrebbe pensare ad asportare uno strato minimo di metallo uguale in tutti i casi. Procedere quindi ad una asportazione più profonda solo in corrispondenza delle zone che hanno subito corrosione localizzata, sanare queste zone con lo stesso materiale di apporto del rivestimento finale, quindi procedere alla deposizione del rivestimento finale. Questo modo di procedere avrebbe il vantaggio di ridurre sia il costo di materiale che quello delle operazioni di asportazione e di deposizione. Un fattore che potrebbe rendere questo modo di procedere non praticabile potrebbe essere rappresentato dall'effetto di diluizione della lega più nobile da parte del metallo base, fattore importante ai fini delle caratteristiche finali del rivestimento. Anche questo aspetto dovrebbe essere minimizzato dal fatto che il materiale con cui verrebbe fatta la riparazione locale sarebbe poi ulteriormente ricoperto dallo strato finale. In fine eventuali riprese e riparazioni che si dovessero rendere necessarie nel tempo potrebbero essere eseguite con idonee apparecchiature sul posto, senza dovere smontare i gruppi di aggancio.

Per quanto riguarda infine la scelta del materiale da impiegare, partendo dal presupposto che il suo costo non incida in modo determinante su quello totale, nell'ipotesi esistano le condizioni per la sua applicabilità, andrebbe privilegiata la scelta dell'Inconel 625, che darebbe le massime garanzie di resistenza alla corrosione in un arco di tempo molto lungo anche nelle condizioni più avverse o, in seconda battuta, quella del SAF 2507.