

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

BOCCA DI LIDO TREPORTI

RIPRISTINO DEI TENSIONATORI DI LIDO TREPORTI MEDIANTE RIVESTIMENTO DEGLI STELI ESISTENTI CON LASER CLADDING

DISCIPLINARE TECNICO

Elaborato: Prof. G. Gusmano

Rev.1 – 05.10.2016

Premessa

Il presente documento riguarda le modalità di prova del processo di ripristino degli steli dei gruppi tensionatori di Lido Treporti mediante rivestimento dei tensionatori esistenti con lega INCONEL 625 o equivalente (parte cilindrica) e con doppio rivestimento costituito da lega INCONEL 625 e lega UNS R31233 o equivalente (testa a martello). Entrambi i rivestimenti sono depositati mediante tecnologia laser.

Nei paragrafi seguenti sono riportate le prove ed i controlli da eseguire sul prototipo dello stelo. Tutti gli aspetti esecutivi, relativi alle attrezzature ed all'organizzazione delle prove, così come gli aspetti correlati alla sicurezza degli operatori durante le prove, non costituiscono oggetto del presente documento e dovranno essere sviluppati dall'esecutore, nell'ambito della definizione di dettaglio di tali attività.

Test, specifiche, valori di riferimento e di accettabilità riportati nel documento si riferiscono solo alla fase di sperimentazione. Per l'eventuale fase di produzione, anche in base ai risultati della sperimentazione, tali valori potranno essere modificati.

Il documento scaturisce da un approfondito lavoro di indagine sulla tecnologia che ha coinvolto aziende esecutrici e i principali attori del processo di progettazione, costruzione, montaggi, direzione lavori, collaudo sotto la guida del CVN.

I partecipanti all'indagine preliminare che ha portato alla stesura della presente specifica sono di seguito elencati:

1. CVN Concessionario e coordinatore di tutte le attività.
2. Prof. G. Gusmano Esperto corrosionista consulente della Direzione Lavori.
3. Prof. G. Paolucci Esperto del Provveditorato.
4. Ing. S. Ramundo Esperto corrosionista del Provveditorato.
5. Technital (Ing. Scotti, Ing. Zoratto) Progettista del sistema di difesa nel suo complesso e della soluzione annessa alla specifica per il prototipo del gruppo di aggancio; coprogettista del gruppo di aggancio poi realizzato.
6. Prof. M. Ormellese – Associato presso il Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica “G. Natta” del Politecnico di Milano. Consulente Technital per gli aspetti legati alla corrosione.
7. Prof. C. Mapelli – Ordinario presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano. Consulente Technital per gli aspetti metallurgici.
8. Ingg. Parodi-Ottolini (BCV) Consulenti Technital per le modellazioni numeriche di dettaglio.
9. FIP (ing. Colato) ha partecipato sia in qualità di coprogettista che di Fornitore alla realizzazione dei gruppi cerniera-connettore.
10. Prof.ssa C. Zanella Consulente FIP per gli aspetti legati alla corrosione e che ha partecipato alla definizione della procedura di ottimizzazione della nichelatura chimica.
11. MATED - Ing. Valentinelli Società che ha emesso i rapporti di controllo delle nichelature con procedura ottimizzata, oggi consulente FIP
12. Ing. Fisichella Direttore Lavori per i gruppi di aggancio di Treporti

13. Ing. Pinton Direttore Lavori per i gruppi di aggancio di S. Nicolò, Malamocco e Chioggia
14. Ing. Zanovello Direttore Lavori per la barriera di Treporti
15. Prof. Brutti e Prof.ssa Mascia Collaudatori statici dei Gruppi Cerniera-Connettore.

La presente specifica, condivisa da tutti quelli che hanno partecipato alla sua stesura costituisce una guida generale a livello di disciplinare tecnico e dovrà, al momento della sua applicazione, essere completata in tutti i suoi aspetti esecutivi dagli enti che eseguiranno le varie fasi. Le fasi previste sono:

- Caratterizzazione meccanica dello strato di INCONEL 625 o lega equivalente e dello strato di lega UNS R 31233 o equivalente depositato mediante laser cladding.
- Prove di qualifica del processo di laser cladding.
- Prove di corrosione – fatica.
- Prove di aggancio e sgancio di un tensionatore reale sottoposto ai trattamenti descritti nel presente documento.
- Prove di corrosione

Documenti di riferimento

Norme

ISO 11782-1 (*Corrosion of metals and alloys - Corrosion fatigue testing - Part 1: Cycles to failure testing*).

ASTM G48 (*Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution*).

ASTM G78 (*Standard guide for crevice corrosion testing of iron-base and nickel-base stainless alloys in seawater and other chloride-containing aqueous environments*).

UNI EN 10083 Acciai da bonifica.

UNI 1071-3 Metodi di prova per rivestimenti ceramici - Parte 3: Determinazione dell'adesione e altri modi di rottura meccanici mediante prova sclerometrica (scratch test)¹

IMO RESOLUTION MSC.215(82)

Documenti di progetto

MV089P-PE-TMS-3208-C0 GRUPPO DI AGGANCIO E TENSIONAMENTO - SPECIFICA DI COSTRUZIONE.

MV089P-PE-TMR-3202-C0 Bocca di Treporti – Relazione Tecnica.

MV089P-PE-TMR-3005-C0 Bocca di Treporti – Carichi di progetto.

MV089P-PE-TMR-3050-C0 Bocca di Treporti – Nota integrativa.

MV089P-PE-TMR-3203-C0 Bocca di Treporti – Gruppo di Aggancio e Tensionamento - Relazione di calcolo.

MV089P-PE-TMR-3220-C0 Bocca di Treporti – Gruppo di Aggancio e Tensionamento- Nota di chiarimento per le richieste dei collaudatori statici.

MV089P-PE-TMR-3051-C0 Bocca di Treporti – Nota di chiarimento per la relazione “Carichi di progetto”.

¹ La norma è stata emessa per i rivestimenti ceramici e per uno spessore di 20 µm del rivestimento ma può essere idonea a valutare altri tipi di rivestimenti e di spessori.

Caratterizzazione meccanica

Il rivestimento che si prevede di depositare mediante la tecnologia di laser cladding, riguarda la testa a martello del tensionatore e la parte cilindrica con esclusione della filettatura. La testa a martello sarà rivestita con due strati di INCONEL 625 (UNS N06625 – Grade 1) e uno strato di lega UNS R31233 ciascuno dello spessore di 1.2 mm. La parte cilindrica, con esclusione della filettatura, sarà rivestita con tre strati di INCONEL 625 (UNS N06625 – Grade 1) dello spessore di 1.2 mm.

Per la parte filettata verrà emessa a cura del gruppo di lavoro citato in premessa, una apposita procedura di ricondizionamento.

Valori da fornire e limiti di accettabilità riguardo alla resistenza meccanica

La Ditta fornitrice dell'operazione di rivestimento mediante laser cladding dovrà fornire le caratteristiche meccaniche del rivestimento che dovranno soddisfare le limitazioni di seguito elencate:

LEGA UNS R 31233

- Limite di snervamento 500 MPa
- Carico di rottura ≥ 950 MPa
- Allungamento % a rottura ≥ 40 %
- Resilienza ≥ 127 J
- Durezza superficiale ≥ 320 HV

INCONEL 625

- Limite di snervamento 500 MPa
- Carico di rottura ≥ 830 MPa
- Allungamento % a rottura ≥ 30 %
- Resilienza ≥ 70 J
- Durezza superficiale ≥ 240 HV

I valori ora forniti come limiti di accettabilità derivano dalle sollecitazioni massime presenti nello stelo che vengono di seguito riassunte, così come desunte dai documenti di progetto:

- Precarico 3300 kN (min 3000 kN).
- Pressioni di contatto su selle 180 MPa (SLU).
- Tensione nominale nel corpo 225 MPa (SLU).
- Sforzo superficiale nel raccordo con testa 475 MPa (SLU).
- Pressioni di contatto su filettatura 445 MPa (SLU).
- Pressioni di contatto su filettatura 345 MPa (SLE).
- Picchi di sforzo su filettatura (fondo) ~ 540 MPa (SLU).

Prove di qualifica del processo di Laser Cladding

La qualifica del processo di deposizione delle leghe INCONEL 625 e UNS R 31233 verrà eseguita mediante le seguenti prove:

- Prove di qualifica del processo di laser cladding presso la ditta fornitrice del trattamento, su barre di acciaio 39NiCrMo3 UNI EN 10083 secondo le seguenti modalità:
 - Esecuzione dei test preliminari di qualifica su due campioni di lunghezza $L = 100$ mm e diametro $D = 300$ mm rappresentativi dello stelo cilindrico rivestiti con INCONEL 625 con tecnologia laser, in 3 strati di spessore 1.2 mm.
 - Esecuzione dei test preliminari di qualifica su due campioni di lunghezza $L = 250$ mm e diametro $D = 500$ mm rappresentativi della testa del tensionatore rivestiti con due strati di INCONEL 625 e uno strato di UNS R 31233 con tecnologia laser, tutti gli strati avranno spessore 1.2 mm.

L'accettazione o il rigetto dei risultati di questa prova verrà eseguita esaminando i risultati delle seguenti prove:

- Prove non distruttive da eseguire su tutta la superficie esterna dei pezzi trattati, al fine di verificare l'integrità del rivestimento e dell'interfaccia rivestimento/substrato. Sono previsti i seguenti test:
 - Liquidi penetranti,
 - Ultrasuoni
 - Correnti indotte

Tali test andranno eseguiti da personale qualificato o direttamente dal Fornitore del trattamento di Laser cladding o da altro ente qualificato scelto dal committente.

- Prove distruttive sui campioni già provati con i controlli non distruttivi prima elencati, costituite da:
 - Esami macrografici su una sezione trasversale e una longitudinale, estesi a tutta l'interfaccia substrato/deposito per un campione con $D = 300$ ed uno con $D = 500$.
 - Esami micrografici, mediante microscopia ottica ed elettronica a scansione SEM su più zone (almeno quattro, diametralmente opposte) degli stessi campioni e sulle stesse sezioni.
 - Misure di macrodurezze Vickers a partire dalla superficie esterna fino al centro dei due campioni di diametro $D = 300$ e 500 mm, al fine di verificare che il processo di deposizione del rivestimento non abbia modificato le proprietà meccaniche dell'acciaio di base. Per rendere questa prova significativa andrà preceduta da

un'uguale serie di misure effettuate su un pezzo delle stesse dimensioni prima della deposizione.

- Almeno due profili di microdurezza su ciascuno dei due campioni, in posizioni diametralmente opposte, in corrispondenza dell'interfaccia rivestimento/metallo base al fine di verificare la presenza di fasi fragili e lo spessore dell'eventuale strato di metallo base addolcito a seguito del riscaldamento.
- 10 misure di microdurezza Vickers sul rivestimento di ciascuno dei due campioni di D 300 e 500 e sulle stesse sezioni precedentemente usate per le prove già descritte, con carico di 70 mN effettuate a distanza di almeno 50 mm l'una dall'altra, al fine di verificare la rispondenza della durezza al valore richiesto.
- Scratch test su ciascuno dei due campioni di diametro rispettivamente 300 e 500 mm per valutare la resistenza del rivestimento in accordo a UNI 1071-3.

Al Fornitore del trattamento verranno forniti 2 pezzi cilindrici da D 300 mm e 2 pezzi D 500 mm in 39NiCrMo3 (UNI 10083) al fine di mettere a punto i parametri di processo. I test di verifica distruttivi e non, andranno eseguiti solo sui pezzi per i quali i parametri di deposizione risultano ottimizzati. In caso di esito negativo anche di uno solo dei test eseguiti, il Fornitore del trattamento deve ripetere le prove di qualifica del processo di deposizione con ripetizione delle prove distruttive e non distruttive previste. Nel caso in cui il Fornitore del trattamento dovesse ripetere le deposizioni su altri campioni, dovrà chiarire quale parametro operativo intende modificare. Ove anche nel secondo set di prove di deposizione si dovesse riscontrare anche un solo difetto la soluzione del laser cladding verrà giudicata non utilizzabile.

Prove di corrosione-fatica

In caso di esito positivo della prequalifica, verrà realizzato il trattamento da parte del Fornitore su almeno un prototipo di tensionatore su cui eseguire una prova di corrosione fatica secondo normativa ISO 11782-1 (*Corrosion of metals and alloys - Corrosion fatigue testing - Part 1: Cycles to failure testing*), (seguita da controlli non distruttivi (liquidi penetranti, ultrasuoni) finalizzati alla verifica dell'integrità strutturale del prototipo). Al riguardo verrà realizzato un prototipo trattato secondo la tecnologia laser cladding con la composizione e lo spessore del rivestimento già descritta. Tale prototipo sarà in scala ridotta e sarà sottoposto a prova con carichi proporzionalmente ridotti rispetto allo spettro di carico riportato nella relazione di calcolo MV089P-PE-TMR-3203-C0 Bocca di Treporti – Gruppo di Aggancio e Tensionamento - Relazione di calcolo, e con lo stesso numero di cicli (6.000.000). Il dispositivo di prova dovrà consentire l'applicazione dei carichi stabiliti, con le modalità stabilite, registrare il numero di cicli e tutti i parametri di sollecitazione (sforzo, allungamento), nonché la segregazione del campione in modo da stabilire l'atmosfera definita nella norma di riferimento già citata.

Il criterio di accettazione della prova è che non devono essere presenti cricche, o segni di inizio del processo di corrosione su tutta la superficie del campione).

Prova di aggancio e sgancio su un tensionatore trattato

Al fine di accertare la risposta dei materiali e del trattamento alle sollecitazioni in gioco dovrà essere eseguita una prova di aggancio e sgancio del tensionatore analoga a quella già effettuata per i gruppi 41 e 43 di Treporti. La prova consiste in:

- Prova di aggancio sgancio di uno stelo rivestito sulla testa a martello con il doppio strato di lega INCONEL 625 e uno strato di lega UNS R 31233, da eseguire con le seguenti modalità
 - L'attrezzatura di prova sarà quella già impiegata per i collaudi finali, o altra equivalente se non disponibile, avendo cura di tarare preliminarmente tutti i dispositivi di misura connessi al dispositivo di prova.
 - Si dovranno simulare almeno 150 cicli, di tesatura e successivo scarico, comprensivi di avvitamento e svitamento del dado di blocco meccanico e di rotazione dello stelo.
 - L'intervallo minimo tra un ciclo e l'altro non dovrà essere inferiore a 15 min.

Preliminarmente alla esecuzione della prova dovrà essere predisposto un tensionatore in 39NiCrMo3 (UNI 10083) non trattato. In caso si utilizzi uno dei tensionatori già realizzati, dovrà essere rimosso nelle parti interessate al trattamento di laser cladding lo strato di nichelatura presente.

Il criterio di accettazione è che su tutto il tensionatore non siano presenti cricche o segni di danneggiamento superficiale; tale condizione dovrà essere accertata con:

- Ispezione visiva con adatti strumenti di ingrandimento.
- Liquidi penetranti.
- Ultrasuoni.

Prove di corrosione

Le prove di corrosione devono essere eseguite su laminati piani di acciaio 39NiCrMo3 (UNI 10083) rivestiti con lega INCONEL 625 o doppio riporto di INCONEL 625 + lega UNS R 31233, secondo lo schema seguente:

- Prove di resistenza a corrosione da pitting e crevice, in accordo con la normativa ASTM G48 (*Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution*). Va adottato il metodo A per la valutazione del pitting e quello B per la valutazione della corrosione per crevice. Le prove vanno effettuate ad entrambe le temperature previste dalla norma: $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ (temperatura rappresentativa delle effettive condizioni ambientali) e $50\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Prove di resistenza a corrosione da crevice in accordo con la normativa ASTM G78 (*Standard guide for crevice corrosion testing of iron-base and nickel-base stainless alloys in seawater and other chloride-containing aqueous environments*).
- Esecuzione delle prove precedentemente descritte su campioni di lega Inconel 625 e lega UNS R31233, al fine di verificare se le caratteristiche dei materiali depositati siano analoghe a quelle degli stessi in bulk.

Prove non normalizzate eseguite su campioni degli stessi materiali, (acciaio bonificato 39NiCrMo3 (UNI 10083) rivestito con lega Inconel 625 o con doppio riporto di Inconel 625 + un riporto di lega UNS R 31233, dotati di crevice former, montati su apposite strutture in modo da poterli esporre all'ambiente marino in tre diverse condizioni: completamente immersi, parzialmente immersi, posti al di sopra del livello del mare. La durata del test sarà di almeno tre mesi, con rimozione ogni mese di un crevice former da ciascuno dei campioni esposti, per valutare l'insorgenza e la propagazione di pitting e corrosione interstiziale. Va prevista la possibilità prolungare il test oltre i tre mesi sulla base dei risultati progressivamente riscontrati. I campioni dovranno avere forma e dimensione simile ai provini utilizzati in accordo con le normative ASTM G48 e ASTM G78, di cui ai punti precedenti. In alternativa le prove potranno essere eseguite in laboratorio in accordo a una delle norme RESOLUTION MSC.215(82) o

- Le prove e misurazioni ora descritte hanno lo scopo di valutare la diversità di comportamento di leghe differenti.
- Prove di corrosione per accoppiamento galvanico in acqua di mare tra provini in acciaio al carbonio bonificato 39NiCrMo3 (UNI 10083) nichelati e provini in acciaio al carbonio bonificato 39NiCrMo3 (UNI 10083) rivestiti con lega Inconel 625, della stessa superficie, cortocircuitati tra di loro mediante uno shunt. Andranno eseguite misure mensili del potenziale e della corrente di macrocella, per un periodo pari a quello dei test di pitting e crevice.

Il criterio di accettazione delle prove di corrosione ora descritte deve essere in accordo alle norme di riferimento citate.

Documentazione

Nella fase iniziale dell'attività, il Fornitore del trattamento di laser cladding emetterà una relazione tecnica di inizio attività, in accordo al presente disciplinare, che definirà in dettaglio le attività di trattamento, costruzione e di prova in programma.

In tale relazione dovranno inoltre essere indicate le fasi critiche di tutte le operazioni di prova e controllo, alle quali dovrà essere presente un rappresentante qualificato e incaricato dal Committente. La relazione dovrà essere approvata dal Committente.

Inoltre al termine delle attività dovrà fornire un dossier contenente:

- Relazione tecnica di inizio attività.
- Procedure di trattamento e prova elaborate.
- Descrizione delle Attrezzature di prova e di misura.
- Certificati dei materiali.
- Risultati delle prove descritte nel presente disciplinare.
- Indicazione delle eventuali riparazioni eseguite ed esito delle successive prove di controllo.

Il concessionario provvederà a trasmettere a tutti i componenti del gruppo di lavoro descritto al paragrafo "Premessa" del presente disciplinare, la documentazione fornita dal Fornitore.

Programma delle attività

I crono programma proposto, da concordare per molti aspetti con il fornitore, avrà la durata complessiva di 34 settimane a decorrere dalla data di consegna delle attività al Fornitore del trattamento di laser-cladding, come di seguito dettagliato:

1. 1 -Redazione delle specifiche di dettaglio: Inizio sett. n. 0 Fine sett. n. 3
2. Approvvigionamento materiali per prove di qualifica del processo di laser-cladding e prove di corrosione: Inizio sett. n. 3 Fine sett. n. 7
3. Prove di qualifica del processo di laser-cladding: Inizio sett. n. 8 Fine sett. n. 12
4. Realizzazione dei campioni da utilizzare per prove di corrosione e corrosione fatica: Inizio sett. n.13 Fine sett. n. 16
5. Prove di corrosione-fatica: Inizio sett. n. 17 Fine sett. n. 24
6. Rimozione da un tensionatore dello strato di nichelatura e preparazione per l'applicazione del rivestimento: Inizio sett. n. 24 Fine sett. n. 25
7. Esecuzione del trattamento su un tensionatore reale: Inizio sett. n. 26 Fine sett. n. 28
8. Prove di aggancio sgancio per uno stelo rivestito: Inizio sett. n. 29 Fine sett. n.30
9. Prove di corrosione: Inizio sett. n. 16 Fine sett. n. 30
- 10.Redazione documentazione finale: Inizio sett. n. 31 Fine sett. n.34