

NOTE RIGUARDANTI I COMMENTI DEGLI ESPERTI DEL PROVVEDITORE ALLA “RELAZIONE SULL’ADEGUATEZZA STRUTTURALE, SULLA DURABILITA’ E SULLE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE ATTUALI E FUTURE”

Premessa

Il presente documento contiene le note redatte dai sottoscritti collaudatori statici Prof. C.Brutti e Prof.ssa D.Mascia in risposta ai commenti che gli Esperti del Provveditore, prof. G.Paolucci e ing. Ramundo hanno fatto sulla relazione riguardante l’adeguatezza strutturale, la durabilità e le operazioni di manutenzione attuali e future dei gruppi di aggancio.

Il documento è organizzato in due parti: la prima a carattere generale e non strettamente tecnica, destinata ad inquadrare l’ambito e l’obiettivo della relazione commentata e la seconda che costituisce la risposta puntuale a tutti gli argomenti citati dagli esperti.

PARTE GENERALE

Il ruolo dei collaudatori statici di una fornitura

I sottoscritti Prof. C. Brutti e Prof. D. Mascia sono stati nominati dal Consorzio Venezia Nuova collaudatori statici delle forniture dei gruppi di aggancio delle quattro Bocche costituenti il sistema di dighe mobili denominato MOSE. Il collaudo di una fornitura è in generale soggetto a maggiori limitazioni rispetto a quello relativo alla realizzazione completa di un’opera in quanto, in estrema sintesi, esso deve accertare che la fornitura risponda a quanto richiesto, così come descritto nel Capitolato e nei documenti di progetto. Nel nostro caso, tale impostazione generale è ulteriormente limitata dal fatto che della fornitura in esame dobbiamo verificare la sola rispondenza ai requisiti statici stabiliti nel progetto. Il progetto, approvato a suo tempo dal comitato di consulenza dell’allora Magistrato alle Acque, non è dunque soggetto alla nostra revisione a meno che il committente non ne faccia esplicita richiesta. Nella fattispecie quest’ultima prestazione per i gruppi di aggancio non è stata richiesta.

Pertanto la relazione prodotta sulla adeguatezza strutturale, sulla durabilità e sulle operazioni di manutenzione non costituisce una convalida o una ulteriore approvazione delle scelte progettuali a suo tempo fatte. Nel progetto è anche compresa la definizione delle attività di manutenzione in corso di esercizio che è stata eseguita a suo tempo e recentemente revisionata, alla luce di quanto accertato dopo l’allagamento di Malamocco del Febbraio 2015. Su tale parte i collaudatori statici di una fornitura hanno una possibilità di intervento molto esigua dovendosi limitare a verificare la loro fattibilità e che non mettano a rischio l’efficienza statica degli elementi costituenti la fornitura. In generale tutti i commenti fatti dagli Esperti del Provveditore sulle caratteristiche del progetto e sulle operazioni di manutenzione, sui prodotti da impiegare e sulle relative prove di qualifica sono da indirizzare ai responsabili di tali attività in quanto i sottoscritti collaudatori li hanno riportati nella propria relazione solo a titolo di riferimento.

Scopo della Relazione prodotta dai collaudatori statici

Tutto ciò premesso, lo scopo della relazione era quello di riassumere in un solo documento i seguenti punti frutto di un lavoro durato diversi mesi e al quale i collaudatori statici hanno preso parte solo parzialmente¹:

¹ A titolo di esempio si cita il fatto che le operazioni di pulizia, manutenzione e protezione rispetto alla corrosione e le relative prove di qualifica dei prodotti da impiegare, sono state definite da un tavolo di addetti ristretto al quale i sottoscritti non hanno partecipato in quanto non competenti come funzione e come preparazione specialistica.

- Esito dei controlli sui gruppi di aggancio per valutare i danni da corrosione.
- Esame del dimensionamento strutturale per verificare se esso, alla luce della presenza di un ambiente corrosivo che il progettista non aveva considerato, rimanesse valido.
- Valutazione se esistono condizioni effettivamente realizzabili con le quali è possibile avere una durata significativa dei gruppi di aggancio ed, eventualmente, il conseguimento della vita utile richiesta a capitolato.
- Riassumere i provvedimenti di pulizia, manutenzione e riparazione da applicare dopo il montaggio delle paratoie per minimizzare i rischi da corrosione che sono stati definiti da un gruppo di addetti completamente indipendenti dai sottoscritti.

La relazione non riguarda la definizione del tipo di corrosione effettivamente presente né delle scelte progettuali che si sarebbero potute utilizzare per minimizzare i rischi di corrosione. Laddove si parla di corrosione ci si è limitati a:

- Riportare le conclusioni degli studi eseguiti da corrosionisti (p.es prof.ssa Zanella e MATED).
- Esporre i dati contenuti nelle normative internazionali sul problema della velocità di corrosione di elementi in acciaio esposti ad atmosfera marina.
- Esporre la scelta dei prodotti di pulizia e protezione nonché i risultati delle prove di corrosione per la loro qualifica, attività queste svolte in modo autonomo rispetto ai collaudatori stessi dai tecnici preposti.

La parte di relazione che è di nostra stretta pertinenza, sia per la funzione svolta sia per le specifiche competenze professionali dei sottoscritti, è l'analisi strutturale tesa a definire quale sia la velocità di corrosione massima tollerabile dai gruppi di aggancio. Da quali specifici fenomeni corrosivi questa velocità di corrosione provenga non è compito dei sottoscritti determinarlo.

L'approccio seguito dai sottoscritti, una volta verificato che i tensionatori sono stati realizzati secondo il progetto, è quello di salvaguardare più possibile il valore di quanto già realizzato, indicando in via preliminare quali siano le condizioni indispensabili per prolungare la vita residua dei tensionatori. Tali misure sono necessarie per evitare, finché possibile, investimenti aggiuntivi per la sostituzione. Infine l'obiettivo ultimo della relazione era quello di provocare una discussione tecnica approfondita sull'argomento. E' poi compito e responsabilità di altri decidere se è più conveniente prolungare la vita di quanto già installato o provvedere alla sostituzione con altri più performanti.

Queste affermazioni sono ben espresse, a nostro avviso, nelle conclusioni contenute nella relazione, ove, tra l'altro, si afferma:

"Omissis...

A proposito dei risultati fin qui sintetizzati si deve sottolineare quanto segue:

- *Le attività svolte per conseguire tali risultati, esulano dai compiti previsti nell'incarico di collaudo statico della fornitura affidato ai sottoscritti a suo tempo; tuttavia trattandosi di un problema assai rilevante per la durabilità di un componente essenziale del sistema, si è ritenuto utile e doveroso eseguire, in base ai dati disponibili, valutazioni quantitative riguardanti la resistenza e la durata prevedibile dei tensionatori in modo da poter suggerire provvedimenti adeguati atti a risolvere le problematiche riscontrate.*
- *E' però altrettanto doveroso richiamare l'attenzione sul fatto che il ruolo del collaudatore statico di una fornitura è quello di ultimo controllore, con riferimento alla resistenza strutturale, della rispondenza della fornitura al progetto approvato e validato, al capitolato e agli eventuali ordini di*

Analogamente i sottoscritti non hanno partecipato alla definizione dei disciplinari per la sperimentazione del gruppo di aggancio in SAF o in acciaio 39NiCrMo3 trattato superficialmente con laser cladding.

servizio. Pertanto quanto qui riportato non può essere utilizzato come revisione degli elaborati progettuali ma solo come un contributo per richiamare l'attenzione sia sulle metodologie da impiegare sia sui risultati con essi ottenibili.

Omissis...

- *Quelli qui esposti sono comunque risultati preliminari che devono essere discussi e confrontati con i risultati ottenuti da calcoli eseguiti in modo indipendente da altri, per esempio il progettista o un ente terzo qualificato.”*

Pertanto la relazione va letta alla luce del suo obiettivo reale. Comunque ove gli Esperti del Provveditore ci indicassero assunzioni e valori di riferimento a loro giudizio adeguati che modificano quelli utilizzati ci dichiariamo fin d'ora disponibili a revisionare i calcoli di durata eseguiti.

PARTE TECNICA

Nel seguito vengono analizzati i commenti espressi dagli Esperti del Provveditore mantenendo la numerazione da essi impiegata, per rendere più agevole la lettura il punto è introdotto da un titolo che sintetizza, fin dove possibile il contenuto del rilievo.

1. *Porosità della nichelatura.* In sede di verifica della nichelatura la porosità è stata accertata mediante il test in accordo a ASTM B733 con un limite di accettabilità definito da FIP INDUSTRIALE come progettista costruttivo pari a:

Numero di difetti ≤ 3 per dm^2

Dimensione difetto $r < 0.5\text{mm}$

Si concorda che esso è senza dubbio un parametro significativo per valutare il rischio di corrosione.
2. *Importanza della scelta del materiale in fase progettuale.* La scelta del materiale è un passo fondamentale nella progettazione di un elemento meccanico. Come già detto nella parte generale del presente documento, nel nostro contesto di riferimento, cioè il collaudo statico di una fornitura eseguita su una progettazione approvata, non è compito dei collaudatori discutere la scelta del materiale in quanto in questa fase essa è un dato di fatto non modificabile. E' evidente anche per noi che un tensionatore in SAF o in 39NiCrMo3 rivestito con laser cladding avrebbe certamente una migliore resistenza alla corrosione degli attuali steli tensionatori. Tuttavia l'approccio seguito da noi collaudatori statici, una volta verificato che i tensionatori sono stati realizzati secondo il progetto, è quello di salvaguardare più possibile il valore di quanto già realizzato, indicando in via preliminare, e quindi provocando una discussione tecnica approfondita sull'argomento, quali siano le condizioni indispensabili per prolungare la vita residua dei tensionatori senza richiedere, finché possibile, investimenti aggiuntivi per la sostituzione.
3. *Protezione catodica della femmina.* La gestione dei controlli sulle femmine a valle della chiusura del collaudo non riguarda i compiti dei collaudatori statici. La frase inserita nel testo (2 righe a pagina 5) aveva solo lo scopo di completare la descrizione delle femmine.
4. *Riduzione della resistenza a fatica per la corrosione.* Si concorda con la necessità di considerare la riduzione di resistenza conseguente all'attacco corrosivo e pertanto i sottoscritti collaudatori statici hanno rieseguito, con esito positivo, i calcoli a fatica tenendo conto di tale aspetto come è diffusamente descritto nell'allegato 3 della relazione in esame e richiamato inoltre nel paragrafo 6.2 della medesima nonché sintetizzato al 4° paragrafo delle conclusioni. L'obiezione andrebbe piuttosto rivolta al progettista dato che come collaudatori statici abbiamo affrontato il problema.

5. *Classificazione dei danni da corrosione.* Al termine della pag. 11 si riferisce non la propria classificazione dei difetti ma quella riportata nella relazione MATED sullo stato di consistenza dei tensionatori. Così come a pag. 10 si riporta la classificazione usata dalla prof.ssa Zanella. Non abbiamo responsabilità se quest'ultima è per gli Esperti del Provveditore esatta mentre la prima è sbagliata. D'altra parte come già detto nella parte generale del presente documento lo scopo della relazione da noi redatta era quello di riunire la corposa documentazione messa a punto dai vari partecipanti ai lavori sui gruppi di aggancio e di svolgere valutazioni e considerazioni proprie sul problema dell'affidabilità strutturale in qualità di collaudatori statici della fornitura.
6. *Condivisione dei documenti.* I collaudatori statici non sono responsabili della distribuzione della documentazione. La relazione della prof.ssa Zanella è stata trasmessa da CVN ai sottoscritti in data 12.4.2016 e lo stato di consistenza dei tensionatori di Treporti in data 19.4.2016; di tali documenti si è discusso verbalmente con gli esperti prof. Paolucci e prof. Gusmano che allora partecipava agli incontri.
7. *Profondità della cricca rilevata dalla prof.ssa Zanella.* Abbiamo tenuto conto della profondità di cricca rilevata dalla prof.ssa Zanella pari a 3 mm. Infatti nei calcoli con la Meccanica della frattura sovrapposta ad una velocità costante di corrosione i sottoscritti hanno analizzato oltre al caso di 1 mm di profondità anche il caso di cricca iniziale pari a 5 mm, più grande di quella effettivamente riscontrata (vd. Pag. 20 ultimo capoverso e tab 3 e tab.5 di pag. 21)
8. *Stato del tensionatore 34 nella bocca di S.Nicolò.* I tensionatori di S.Nicolò non sono mai venuti a contatto con l'acqua di mare, quindi le osservazioni sull'inevitabilità della corrosione dell'acciaio AISI 316L a contatto con l'acqua di mare, corrette dal punto di vista del corrosionista, non sono pertinenti in questo particolare caso. La frase relativa all'attacco corrosivo presente nel carter si intende in paragone agli altri carter che, pur essendo nelle stesse condizioni ambientali e di isolamento, non presentano nessun danneggiamento. Inoltre si ribadisce che i collaudatori statici di una fornitura non intervengono nelle scelte dei materiali operate dal progettista e approvate dal Magistrato alle Acque. Infine si osserva che i sottoscritti collaudatori statici non sono gli autori del Disciplinare di Prova predisposto dall'I.I.S. e che lo hanno ricevuto per conoscenza una volta preparato.
9. *Prove per valutare l'attacco corrosivo.* La misura dello strato di nichel in prossimità della lesione è stata richiesta nell'ottica del collaudo statico di una fornitura; dato che ciascun tensionatore viene sottoposto al controllo dello spessore di nichel depositato, un'eventuale dato discordante all'intervallo di ammissibilità indica che è stato provocato un danneggiamento della nichelatura durante le fasi successive (lucidatura, trasporto, montaggio ecc.).
10. *Capacità della nichelatura di proteggere l'acciaio.* Come definito nel documento di costruzione "PROCEDURA DI NICHELATURA AUTOCATALITICA" Rev.7 del 2.8.2013 preparata per FIP INDUSTRIALE dalla prof. Zanella e utilizzata per tutti i gruppi di aggancio delle Bocche di Malamocco, Chioggia e S. Nicolò', la deposizione dello strato di Nichel è stata realizzata in accordo allo Standard ASTM B733 "Standard specification for autocatalytic electroless Ni-P coatings on metals" ed ha come requisiti di accettabilità i seguenti valori:

	minimo	massimo
Spessore [µm]	70 ± 7	-
Composizione chimica	10% P	13% P
Durezza (HV001)	550	NA

Si tratta quindi di un rivestimento qualificato ad alto tenore di fosforo (10-13%) che garantisce dal punto di vista teorico una bassa porosità ed uno stato di tensione residuo prevalentemente di

compressione che tende a richiudere tutte le eventuali imperfezioni rendendo lo strato più resistente dell'acciaio sottostante agli attacchi corrosivi. Per quanto riguarda lo stato residuo di compressione nella pubblicazione "R.Parkinson, Properties and applications of electroless nickel, Nickel Development Institute" sono evidenziati alcuni valori sperimentali dello stato di sforzo residuo in funzione della percentuale di fosforo presente ottenuti da Duncan².

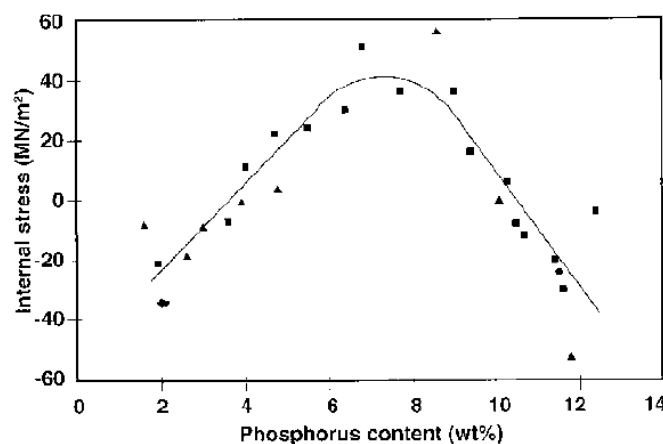


Figure 12 Effect of composition on internal stress.

Dai valori riportati si può concludere che la composizione 10-13% di P, scelta nella citata specifica MATED che descrive il trattamento usato per i gruppi di aggancio, assicura lo stato residuo di compressione.

A proposito della capacità di proteggere rispetto alla corrosione il metallo base, nel libro "Electroless Plating: Fundamentals and Application. G.O.Mallory, J.B. Hajdu eds. American Electroplaters and Surface Finishers Society, USA" l'inizio del cap.4 riporta la seguente definizione.

Chapter 4 The Properties of Electroless Nickel

Rolf Weil and Konrad Parker

Electroless nickel deposits are used by many industries as functional coatings because they possess a unique combination of both corrosion and wear resistance. The ability to coat parts, regardless of their size, with a deposit of uniform thickness is another desirable property of electroless nickel.

Nello stesso testo sono riportate alcune tipiche applicazioni del campo aeronautico e automobilistico dove si mostra che esso si applica su acciaio, acciaio dolce e acciaio legato per migliorare la resistenza alla corrosione. Tutte queste prestazioni sono ottenibili se lo strato di nichel è integro. Il comportamento catodico del nichel, menzionato giustamente dagli esperti del provveditore, si verifica se si ha un'interruzione dello strato protettivo.

E' evidente altresì, e onestà intellettuale impone di ricordarlo, che esistono sistemi alternativi e migliori della nichelatura per la protezione dalla corrosione, come del resto già ricordato al punto 2) del presente promemoria ma il contesto nel quale è stata sviluppata la relazione è quello di valutare che prestazioni possono offrire i gruppi già realizzati.

² Si veda per esempio R.N. Duncan, Electroless Nickel: past, present and future, Proc. EN 93 Conference Orlando, Nov. 1993.

I provvedimenti definiti dalla D.L. e da MATED, e riportati, per completezza di esposizione, in sintesi al paragrafo 7 della relazione in esame sono finalizzati a creare una barriera che isoli eventuali porosità o piccole imperfezioni eventualmente presenti nella nichelatura dall'ambiente aggressivo. Ribadiamo che come collaudatori non abbiamo partecipato alla selezione dei prodotti protettivi né alla scelta delle prove per verificarne l'efficacia in quanto tale attività si configura come parte del progetto delle attività di manutenzione e quindi non di nostra competenza.

11. *Refuso a pag. 19.* Effettivamente all'inizio di pag. 19 c'è un refuso in quanto il dato più gravoso è quello relativo al primo filetto in presa. In realtà, se il provvedimento di proteggere la filettatura con il grasso viene attuato rigorosamente, la verifica è superata con un margine molto maggiore di quello riportato, peraltro già sufficiente per assicurare la resistenza, in quanto in presenza di un agente isolante la riduzione di resistenza a fatica conseguente ad un ambiente aggressivo non deve essere considerata.
12. *(Modalità di failure da stress corrosion. Punto 1)* Le modalità di danneggiamento e collasso indicate nella relazione come la successione di tre fasi: *incubazione, propagazione e collasso*, sono caratteristiche di una molteplicità di materiali tra i quali gli acciai al carbonio e quelli legati in presenza di "stress corrosion cracking". Tale affermazione è supportata da numerosi riferimenti bibliografici, alcuni dei quali già citati nella relazione. Per esempio in "R.H. Jones, *Stress corrosion cracking*, ASM International, Ohio, USA, 1992" si riporta la seguente definizione:

The term "stress-corrosion cracking" is usually used to describe failures in metallic alloys. However, other classes of materials also exhibit delayed failure by environmentally induced crack propagation.

Più avanti, nello stesso testo, si riferisce la sintesi di numerosi risultati, di seguito riportata.

2.2.3 SCC Crack Growth Rate vs. Stress Intensity Factor Curves

Most frequently, the SCC propagation behaviour is quantitatively characterised by tests with pre-cracked fracture mechanic specimens. Mode I loading is generally used, because it is most severe for SCC and results in lowest thresholds [5]. Tests under slow monotonically rising load with different loading rates are necessary to derive minimum K_{ISCC} values for type II SCC (see Figure 2). Under constant load the stress intensity factor is increasing with increasing crack length, whereas it decreases under constant deformation. Crack growth rate vs. stress intensity factor diagrams are derived from several individual tests (see Figure 5). Such tests have to be performed either under conditions where LEFM is valid (SSY-conditions) or EPFM parameters as J have to be used to characterise mechanical crack-tip conditions.

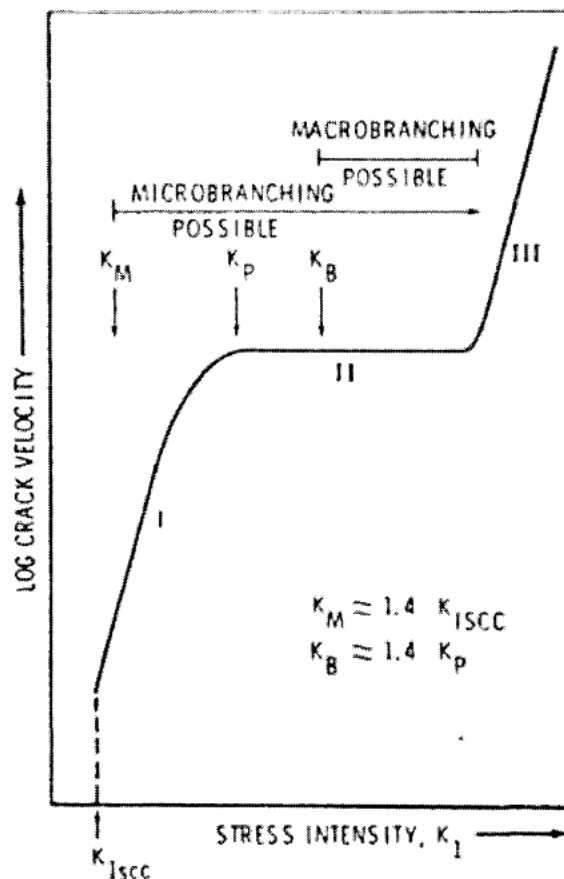


Figure 5: Schematic of the dependence of the SCC crack propagation rate, micro- and macro-branching on the applied stress intensity factor [3, 4].

La stessa definizione e gli stessi dati sono riportati anche in "S.D. Cramer, B.S. Covino, Jr., *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, ASM Handbook, Vol. 13, ASM International, Ohio, USA, 2003".

Infine nel libro "P.P. Milella, *Fatigue and corrosion in metals*, Springer, Milano, 2013" è riportata, ancora una volta la seguente definizione nel capitolo 13 "Corrosion":

"Localized corrosion is a subtle and continuous process often exalted by stresses, which is referred to as stress corrosion or SCC (stress corrosion cracking) or fatigue. Materials, such as stainless steel, aluminum alloys, high strength steels and titanium alloys, previously considered to be corrosion resistant were found to be very susceptible to SCC."

Inoltre nello stesso capitolo vengono riportate le seguenti figure 13.23 e 13.24 che mostrano in tutti e due i casi di corrosione come l'andamento della profondità media di penetrazione all'apice della cricca abbia andamento lineare nel tempo e quindi corrisponda ad una velocità di corrosione costante nel tempo come assunto nello studio preliminare svolto.

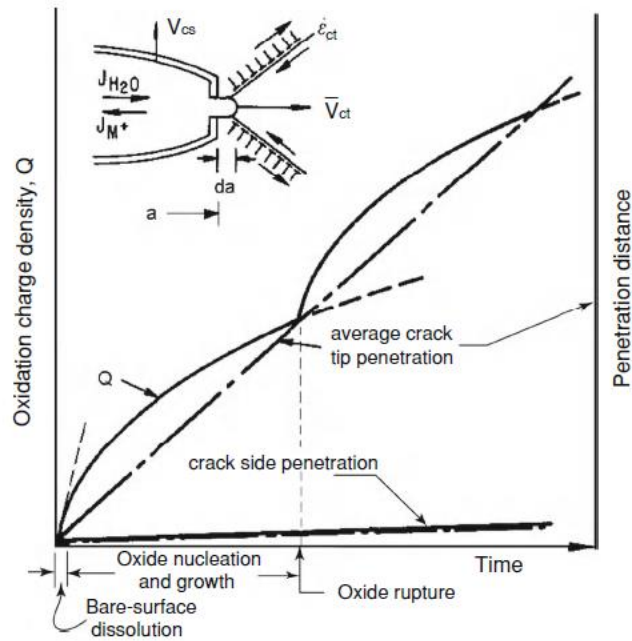


Fig. 13.23 Schematic of crack penetration with time in the film-rupture/anodic-dissolution model [29]

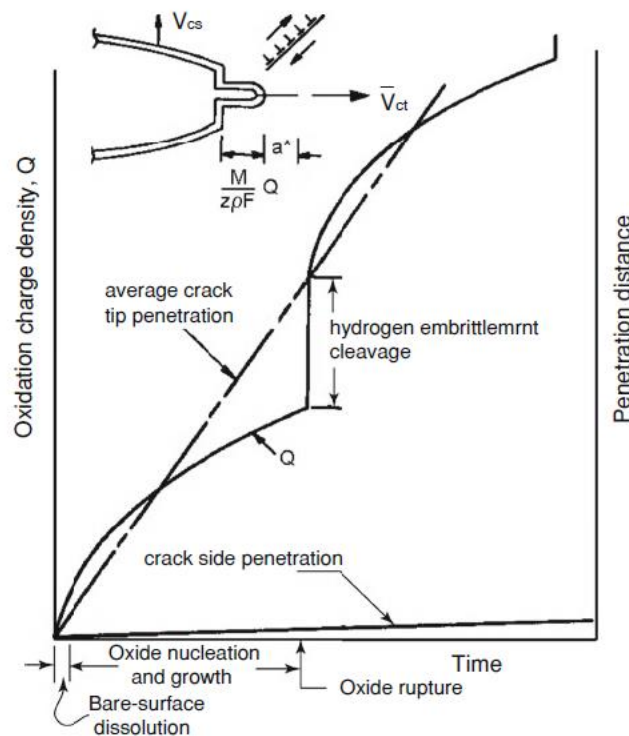


Fig. 13.24 Schematic of crack penetration with time in the film-rupture/anodic-dissolution model accelerated by hydrogen absorption embrittlement [30]

Tuttavia non riteniamo ci siano elementi specifici sufficienti per giudicare in modo definitivo se la velocità di corrosione è costante o no. Il modello di velocità costante è stato utilizzato solamente con l'obiettivo di valutare un valore limite al di sopra del quale la durata dei tensionatori è compromessa. E' possibile eseguire gli stessi calcoli con un modello di velocità crescente (o decrescente) e, come già detto nella parte generale, ci dichiariamo disponibili a revisionare e completare i calcoli non appena ci sia la disponibilità di valori attendibili e utilizzabili.

(Dati forniti dalla norma UNI ENV 1993-5. Punto 2) Per quanto riguarda i valori di corrosione riportati nella norma UNI ENV 1993-5 sono stati utilizzati solo come riferimento per valutare l'ordine di grandezza della velocità di corrosione che, essendo variabile in un campo molto ampio a causa della molteplicità dei meccanismi corrosivi potenzialmente in atto, è stata assunta nello studio eseguito in modo parametrico da 0.050 mm/anno fino a 1.000 mm/anno.

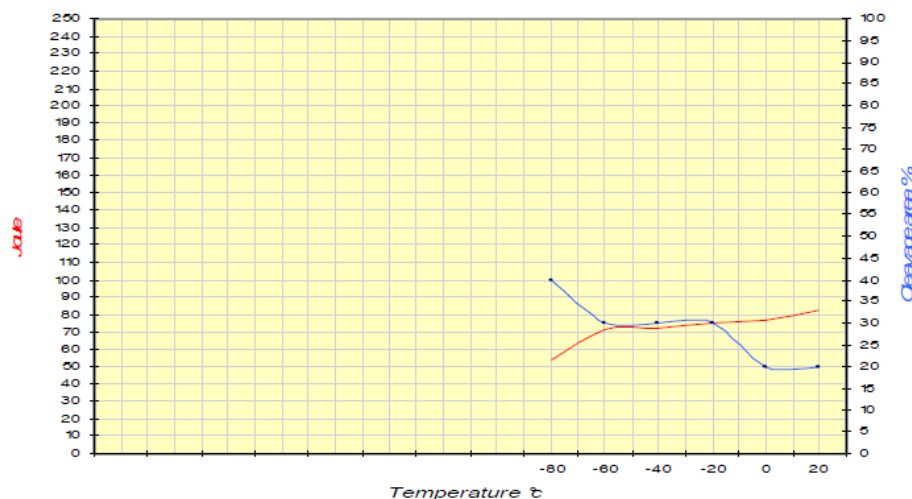
(Valori della velocità di corrosione. Punto 3) Siamo d'accordo sul fatto che i meccanismi di corrosione sono diversi e, di conseguenza, le velocità di corrosione possono essere diverse. Pertanto l'analisi, anziché assumere un valore di riferimento della velocità di corrosione, che sarebbe stato comunque poco significativo, è stata eseguita, come già detto, in modo parametrico.

(Ancora sui valori della velocità di corrosione. Punto 4) Gli estremi di variazione della velocità di corrosione sono stati scelti con i seguenti criteri:

- Velocità minima pari a 0.050 mm/anno corrispondente ad un fenomeno di corrosione piuttosto lento che corrisponde, secondo i valori riportati nella norma UNI ENV 1993-5, a più del doppio della velocità di corrosione su un acciaio al carbonio in presenza di atmosfera marina in luogo aperto.
- Velocità massima pari a 1.000 mm/anno che è superiore a quella riscontrata sui gruppi di Treporti dopo un prolungato contatto con sabbia di mare ricca di cloruri. Il tempo trascorso dall'installazione del gruppo di aggancio al momento dell'ispezione riportata nel report della prof.ssa Zanella va calcolato in base ai seguenti dati:
 - o I gruppi di aggancio sono stati costruiti e installati all'interno dei cassoni nel 2011.
 - o I cassoni sono stati varati nella bocca nel 2012.
 - o Le paratoie sono state poste in opera tra il 2012 e il 2013 con il conseguente tensionamento.

Pertanto si può dire che, al momento delle ispezioni avvenute alla fine del 2016, erano 5 anni dalla costruzione/montaggio, 4 anni dall'inizio del contatto con l'atmosfera marina e almeno 3 anni dal tensionamento e quindi dal contatto con l'acqua di mare durante le operazioni di montaggio e dalla successiva pulizia. In base a tali considerazioni si può stimare una velocità di corrosione media compresa tra 0.5 mm/anno e 1 mm/anno Congruente con il campo indagato. Si ribadisce che entrambe queste velocità sono incompatibili con il requisito di durata richiesto, come riportato nella relazione nella quale si è ricavato che, per le forme di cricca indagate, la velocità massima accettabile non può superare il valore di 0.3 mm/anno

13. *(Prove di qualifica del materiale 39NiCrMo3)* Siamo d'accordo sul fatto che prove di resilienza sul tensionatore corrosivo a -20° aggiungerebbero sicuramente informazioni utili a qualificare il materiale anche se i dati sperimentali reperibili per il 39NiCrMo3 mostrano che la variazione dei risultati tra 0°C e -20°C è modesta come si evince dalla curva rossa riportata nella seguente figura desunta, a titolo di mero esempio, dai dati forniti dall'azienda Metallurgica Veneta – Acciai Speciali. La richiesta di eseguire una prova di propagazione deriva dal fatto che il valore di KIC calcolato dalla formula della BS7910 è comunque, in generale, approssimato per difetto e sarebbe utile stimare di quanto. Con riferimento invece alle altre prove di resilienza e alla scelta della temperatura di esecuzione si ribadisce che le condizioni di prova dei materiali non sono state stabilite dai sottoscritti. Non ci sfugge che la velocità di corrosione può essere la somma di più contributi dovuti a fenomeni concomitanti ma si ribadisce che i calcoli eseguiti sono finalizzati a determinare qual è la velocità complessiva ancora accettabile. Per il valore di quest'ultima valgono le considerazioni svolte nelle ultime righe del punto precedente.



14. *(Assunzioni utilizzate nel calcolo per la velocità di corrosione)* Si ribadisce che lo scopo del calcolo era quello di determinare la velocità complessiva massima ancora accettabile rispetto al requisito di durata e resistenza; da quali fenomeni sovrapposti questa velocità provenga non è nello scopo delle elaborazioni eseguite dai sottoscritti né nelle loro competenze.
Per quanto riguarda poi l'ultimo interrogativo espresso dagli Esperti: "b) Chi ci garantisce che in presenza di una sollecitazione meccanica la velocità di corrosione sull'apice dell'ipotetica cricca, progredisca con una cinetica costante?" i sottoscritti sono d'accordo sul fatto che tale ipotesi debba essere dimostrata. In particolare l'analisi strutturale eseguita suggerisce, almeno come risultato preliminare, che gli interventi di manutenzione e prevenzione devono essere tali da garantire che la velocità di corrosione sia costante e inferiore al valore di 0.3 mm/anno. Vale comunque la disponibilità a correggere i calcoli in presenza di altri dati, già dichiarata nella parte generale e nella risposta al punto 12.
15. *(Componenti del G.d.L.)* L'organizzazione del G.d.L. per la definizione dei mezzi di manutenzione e protezione non è nei compiti dei collaudatori statici che hanno ricevuto soltanto il risultato di tali attività senza parteciparvi.
16. *(Prove di qualifica dei prodotti anticorrosione)* Come risposta all'obiezione circa la scelta delle prove vale quanto detto al punto precedente.
17. *(Esito delle prove di qualifica dei prodotti anticorrosione)* Come risposta all'obiezione circa la scelta delle prove vale quanto detto al punto 15.
18. *(Ancora sull'esito delle prove di qualifica dei prodotti anticorrosione)* Prendiamo atto di quanto affermato dagli Esperti del Provveditore e siamo d'accordo sulla necessità di uno studio ben ponderato e scientificamente supportato.
19. *(Interventi migliorativi sui gruppi cerniera-connettore)* Il capitolo 8 della relazione contiene la sintesi delle attività svolte dai collaudatori statici e da altri indipendentemente; abbiamo già preso atto della posizione degli Esperti del Provveditore sui singoli punti, rispondendo solo su quanto di nostra stretta pertinenza.
20. *(Revisione dei manuali di manutenzione)* Siamo d'accordo sul fatto che l'attività di revisione dei manuali di manutenzione deve esser condivisa da tutti gli esperti ciascuno per le proprie competenze specifiche. Il nostro compito una volta che siano disponibili, come collaudatori statici, è verificarne la completezza, applicabilità e congruenza con le documentazioni di supporto tecnico e scientifico.
21. *(Urgenza degli interventi sui gruppi di Treporti).* Abbiamo più volte richiamato la necessità e l'urgenza degli interventi sui gruppi di aggancio di Treporti e pertanto concordiamo con la richiesta degli Esperti del Provveditore.

Considerazioni sull'Allegato 1

(Sulla definizione comunemente utilizzata dagli strutturisti di SCC) Esistono evidenze per le quali gli acciai al carbonio o basso legati presentano il fenomeno della SCC in presenza di acqua di mare³ o, più in generale di una soluzione alcalina. Comunque l'aver invocato la SCC è congruente solo alla scelta di aver simulato una velocità di corrosione indipendente dal livello del fattore di intensità degli sforzi della meccanica della frattura (che è, a sua volta, influenzato dallo sforzo e dalla dimensione della cricca) e costante nel tempo. Questo concetto è stato già menzionato più volte nel presente documento e non vale la pena dilungarsi oltre.

(Relazione prof. Mapelli e diversità rispetto a quella dei prof. Brutti e prof.ssa Mascia) Confermiamo che la relazione del prof. Mapelli è stata svolta in modo totalmente indipendente dalla nostra.

(Articolo sulla velocità di corrosione della nichelatura) Nella relazione a pag. 36 l'articolo era riportato per testimoniare come i dati di corrosione su riporti di Nichel sono molto meno diffusi in letteratura.

Argomentazioni generali.

In questa parte gli Esperti del Provveditore ricapitolano alcuni aspetti caratteristici dei fenomeni corrosivi, sui quali i sottoscritti, per quanto di loro conoscenza e sebbene non specialisti della materia, si dichiarano d'accordo.

(Dimensioni difetto massimo rilevato) Si conferma, come già detto, che gli effetti analizzati derivano da difetti di 1 mm o di 5 mm; il difetto massimo rilevato dalla prof.ssa Zanella è di 3 mm, quindi compreso nel campo simulato.

(Forme delle cricche analizzate) Le due forme di cricche scelte sono rispettivamente rappresentative di un attacco superficiale concentrato (quella triangolare) e più diffuso (quella semicircolare). L'applicazione della meccanica della frattura per il primo tipo di cricca inoltre prescinde dalla forma specifica (triangolare, rettangolare o a contorno irregolare) e assume come parametro guida della progressione del danneggiamento l'area del difetto come riportato nelle formule di pag. 48⁴.

(Oggetto dello studio eseguito) Infine i sottoscritti collaudatori ribadiscono che l'obiettivo primario della relazione svolta era quello di valutare il problema di resistenza strutturale nel tempo. Su tale aspetto in forza del loro ruolo nelle operazioni di collaudo le attività di calcolo eseguite sono pertinenti. Dato che sui gruppi di aggancio si verifica la sovrapposizione, presumibilmente sinergica, di un danneggiamento da fatica e di uno da corrosione, l'analisi della resistenza a fatica è stata condotta sulla base dei dati disponibili e con l'obiettivo di determinare la velocità massima di corrosione accettabile che deve essere pertanto limitata da adeguati trattamenti di protezione/manutenzione. Quali siano questi trattamenti e se esistono non è compito nostro determinarlo ma degli esperti nello specifico settore della corrosione. La velocità di corrosione è stata assunta, in assenza di dati più attendibili, in modo parametrico e costante nel tempo. In presenza di dati quantitativi attendibili siamo totalmente disponibili a eseguire nuovamente le nostre valutazioni come più volte dichiarato nel presente documento.

Come già detto in altri documenti analoghi al presente siamo disponibili ad incontro alla presenza di tutti gli attori coinvolti (Provveditore, Esperti del Provveditore, Responsabili di CVN, Direzione Lavori, Collaudatori statici) per chiarire i punti fin qui richiamati e proseguire proficuamente la collaborazione nel rispetto delle competenze e dei ruoli.

Prof. C. Brutti

Prof.ssa D.Mascia

³ J.H.Bullock, *Stress corrosion cracking of low alloy steels in natural seawater environment—the influence of carbon level*, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Volume 16, Issue 1, October 1991, Pages 1-17

⁴ C.F.R. a tale proposito Y. Murakami, *Stress Intensity Factors Handbook*, Pergamon Press, 1987