

Considerazioni sulla: “RELAZIONE SULL’ADEGUATEZZA STRUTTURALE, SULLA DURABILITA’ E SULLE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE ATTUALI E FUTURE” Rev.0 datata 23.05.2017

(redatta dai Prof. Donatella Mascia- Prof. Carlo Brutti)

Gli scriventi, quali esperti di Codesto Ufficio, espongono nel presente documento le considerazioni tecniche sulla relazione dei Proff. Collaudatori come anticipato nella riunione del 30 maggio tenutasi presso CNV.

Vengono di seguito evidenziati puntualmente tutti gli specifici aspetti in cui c’è una forte dissonanza con quanto riportato dagli estensori. Più in particolare verranno esposte osservazioni su argomentazioni tecnicamente non condivisi della Relazione e poi alcune argomentazioni generali che emergono dalla lettura complessiva del documento.

Osservazioni puntuali

Le osservazioni sono riportate seguendo la logica del documento evidenziando a quale punto della Relazione ci si riferisce (capitolo, paragrafo e pagina); non in funzione della rilevanza tecnica delle divergenze tra codesti Esperti del Provveditore ed i Proff. Collaudatori estensori della Relazione.

- 1) Nel capitolo 2. “Caratteristiche generali, funzione strutturale e processo costruttivo.” a pagina 5 si riporta che lo stelo dei gruppi di aggancio è lavorato di macchina e nichelato; si suggerisce di inserire un dato di riferimento sulla porosità del rivestimento in nichel oltre che sulla rugosità del materiale base. Tale porosità risulta essere un dato rilevante per la corrosione del materiale.
- 2) Sempre a pagina 5, si dice letteralmente che la durabilità dell’opera è legata alle “soluzioni progettuali, costruttive, e soprattutto alle operazioni di controllo e manutenzione”. Ma allora la “selezione del materiale” che è l’operazione principe in tutti i settori industriali nella fase di progettazione/realizzazione non ha dignità di essere nominata? Di solito si seleziona il materiale giusto per l’ambiente di utilizzo nell’ottica di massimizzarne la durata e minimizzarne i costi di manutenzione. Tutto ciò non vale per il MoSE?
- 3) Sempre a pag. 5 si fa riferimento ai sistemi di protezione catodica predisposti: “Per tale motivo la femmina, il maschio e la paratoia sono protetti rispetto al rischio di corrosione mediante protezione catodica la cui efficacia è verificata dal sistema di monitoraggio”. Questo tema è stato già oggetto di una riunione con il Provveditore i suoi Esperti, il Prof. Ossola e l’Ing. Ardone, riunione di cui non esiste un verbale. Nella citata riunione si è capito che si registra in

continuo (soltanto dopo che la paratoia è in opera) unicamente il potenziale di un intero sistema. In caso di inconvenienti scatta una qualche forma di allarme? Sicuramente questa nota non poteva contenere dettagli o spunti sulla tematica, ma riportare frasi generiche su tematiche di molta sostanza non ci sembra corretto.

- 4) A pag. 9, dopo il riferimento ai calcoli strutturali sulla pre-serie, c'è una frase che ribadisce che, essendo l'acciaio protetto dalla nichelatura, non è stato considerato nessun coefficiente riduttivo prestazioni dovuto ad un attacco corrosivo; è noto invece che il rivestimento chimico di nichel dei tensionatori è poroso, per cui il coefficiente riduttivo andava applicato.
- 5) Nel paragrafo 5.2 "Bocca di Treporti" a fine di pag. 11 si riporta una lista dei danni da corrosione riscontrati su tutti gli steli. Tali danni sono: *ossidazione, blistering, pitting e crevice*.

A tale proposito osserviamo che:

La dicitura *pitting* – tipica degli acciai inossidabili – se usata nel caso di un acciaio basso legato può ingenerare equivoci; in questo caso si preferisce definire questo degrado come corrosione localizzata. Nel caso degli steli di Treporti tale corrosione *non* è un tipico *pitting* ma è di natura galvanica, in quanto lo strato di nichelatura, poroso e non protettivo, risulta catodico rispetto all'acciaio sottostante e ne promuove una corrosione localizzata. Invece il *pitting* propriamente detto è causato da micro-rotture dello strato passivo caratteristico degli acciai inossidabili.

Si fanno queste precisazioni poiché in tutto il documento si confondono le proprietà ed il comportamento dell'acciaio al carbonio o basso legato con quelle tipiche dell'acciaio inossidabile (questa confusione si è verificata anche nel caso dei test eseguiti per validare l'utilizzo di alcuni prodotti protettivi, come vedremo più avanti in questo documento). Le parole testuali usate dalla Prof. Zanella (riportate nella relazione dei Collaudatori statici a pag. 10) sono precise e puntuali; ad es. la corrosione localizzata è chiamata "tipo pitting", spiegando anche cosa ha generato il danno: lo strato poroso di nichel tutt'altro che protettivo.

- 6) Nello stesso paragrafo ma a pagina 13 si riporta "Contemporaneamente alla ricognizione sistematica dei danneggiamenti la consulente della FIP per i problemi di corrosione, Prof.ssa C. Zanella, ha predisposto un documento dal titolo "Relazione Tecnica. Indagine sull'ossidazione presente sui gruppi di aggancio, identificazione di meccanismi, cause, azioni correttive e preventive. 6.4.2016. In tale relazione, successivamente condivisa nei suoi contenuti e conclusioni dal Gruppo di lavoro di cui alla nota 7," *Si dissente da tale ultima affermazione in quanto le Relazioni risultano condivise da un GdL quando vengono: fornite, discusse, ed esiste un verbale congiunto. Per quella riunione nessuno dei tre requisiti è stato mai soddisfatto.*
- 7) Sempre a pag. 13 ci sono poi tutti i danni rilevati e commentati dalla Prof. Zanella, di cui nessuno però ha tenuto conto: ad es. la maggiore gravità nell'attacco corrosivo degli steli è avvenuta per areazione differenziale con un danno evidenziato di 3mm.
- 8) A pag. 15 si descrive il danneggiamento dello stelo nel carter e si afferma che ci deve essere stato un attacco rilevante, in quanto "sono presenti sul vetro sostanze arancioni". Si ribadisce

la grossa entità di questo attacco, in quanto risulta avvenuto anche sul carter che è di acciaio inossidabile AISI 316L. In realtà un corrosionista sa che questo acciaio non va usato in acqua di mare perché soffre di *pitting* diffuso già a 5 °C, fenomeno che se ignorato porta ad un attacco da Cl-Stress-Corrosion-Cracking. Di contro si pretende assurdamente di fare test di *pitting* e *crevice* sull'acciaio Super Duplex F55 (vedi *Disciplinare di Prova* predisposto dall'IIS di Genova), mentre si considera corretto utilizzare un acciaio austenitico in acqua di mare.

- 9) A pag. 16 si suggeriscono le procedure per verificare le cause dell'attacco sullo stelo corrosivo, e si chiede di procedere alla rilevazione dello spessore di nichel in prossimità del difetto. Ciò è concettualmente errato in quanto il nichel non è protettivo e lo strato probabilmente conserva lo spessore iniziale in quanto non si consuma perché catodico. Non si richiede invece di misurare la profondità dell'attacco sull'acciaio al carbonio/ basso legato, che risulta essere il materiale che si corrode. La presenza del riporto di nichelatura non lo protegge, ma accelera la corrosione sommandosi alle modalità di ossidazione una corrosione di tipo galvanico, in cui l'acciaio basso legato funge da anodo e si dissolve.
- 10) A fine pag. 17-18 in tutto il punto 6.2 si fanno delle affermazioni che contrastano con la realtà scientifica del fenomeno. Infatti, il rivestimento di nichel risulta essere catodico rispetto al ferro, per di più poroso, e non potrà mai proteggere l'acciaio sottostante.
- 11) Ad inizio pag. 19 c'è un errore: il danno massimo non si presenta nel sottotesta, ma nel primo filetto in presa. Non c'è congruenza tra tab. 1 a pag. 18 e quanto viene scritto nel punto 2 di pag. 19.
- 12) Pag. 19-20 Paragrafo 6.3 relativo a "*Risultati ottenuti con l'approccio Damage Tolerant*": gli scriventi Esperti dissentono da ogni affermazione:

Il punto 1- "Come per i problemi di meccanica della frattura, è possibile distinguere nella vita di un componente soggetto a fenomeni corrosivi e sollecitato meccanicamente, tre fasi: incubazione, propagazione e collasso. La fase di incubazione, di più difficile valutazione quantitativa, è stata assunta, nelle valutazioni del presente documento, di estensione temporale nulla. Cioè si assume che il processo corrosivo inizi dall'istante dell'installazione del gruppo di aggancio. Inoltre è lecito considerare la velocità di corrosione costante e indipendente dalla sollecitazione applicata e dalla dimensione della cricca (cioè dal fattore KI di intensità degli sforzi), per tutta la fase di propagazione, fino all'incipiente collasso".

Le modalità di *failure* descritte *non sono ammissibili* per un acciaio al carbonio/basso legato, essendo tipiche di un inossidabile.

Il punto 2- si prende a riferimento la norma UNI ENV 1993-5, che fornisce dati per corrosioni all'aperto in prossimità del mare. Questo non è il nostro caso, dato che si è in presenza di un ambiente chiuso con atmosfera marina. Per giunta le modalità di cedimento più gravose sono da ascrivere a ciò che viene definito cella occlusa in aerazione differenziale, meccanismo non preso in considerazione nello studio.

*Il punto 3- “E’ evidente quindi che i valori delle velocità di corrosione sono affetti, in generale, anche riferendosi alle sole normative, da una dispersione non trascurabile spaziando da valori dello spessore corrosivo dopo 100 anni che possono corrispondere a 2 mm ($V_c = 0.020$ mm/y) o a 30 mm ($V_c = 0.300$ mm/y)”. Questa affermazione non risulta comprensibile, in quanto i corrosionisti sanno che a voltesì dà per *la velocità di corrosione un range* ampio quando non si è in grado di definire con esattezza le reali cinetiche di propagazione dei meccanismi di danneggiamento.*

Il punto 4- “Per tale motivo le elaborazioni numeriche riguardanti la valutazione della durata dei tensionatori mediante la meccanica della frattura, stante l’incertezza sul valore della velocità di corrosione, sono state eseguite in modo parametrico assumendo velocità di corrosione variabili da 0.05 mm/anno fino a 1 mm/anno. L’estremo inferiore del campo di variazione è quello corrispondente ad una velocità di corrosione modesta ma superiore a quella consigliata dalle norme per esposizione ad atmosfere marine, mentre il limite superiore di 1 mm/anno è un valore sicuramente approssimato per eccesso”. Per tale punto, basato su presupposti non condivisi dagli scriventi Esperti, si dissente anche dall’ultima espressione.

- 13) A pag. 22 della relazione Brutti/Mascia si legge “i risultati sono stati ottenuti considerando come valore del Fattore di intensità degli sforzi critico (KIC) quello derivato dalle prove di resilienza attraverso la formula stabilita dalla Norma BS 7910. Sarebbe auspicabile eseguire delle prove di propagazione della cricca su provini di 39NiCrMo3 soggetti agli stessi trattamenti eseguiti sui tensionatori per avere dati di riferimento più attendibili.”

Aniché prove di propagazione della cricca sarebbe doveroso effettuare prove di resilienza sul tensionatore corrosivo disponibile, per accertarne il vero valore alla stessa T (- 20°C) del test sulle cerniere. Per essere realmente rappresentativa dello stato del tensionatore tale prova andrebbe eseguita su provini prelevati appena sotto la superficie, così da tenere conto dell’influenza tensionale residua. L’esistenza di tali tensioni sotto pelle è assolutamente certa, essendo comprovata dalla durezza superficiale del riporto di nichel rispetto alla durezza, certamente inferiore, dell’acciaio bonificato.

Questa prova viene richiesta inutilmente da mesi da noi Esperti del Provveditorato, mentre risulta agli atti che la DL ha effettuato prove KV di verifica a + 20°C, che però non rappresentano la realtà se non per difetto, così come è fuori realtà per eccesso lo è la prova a - 40°C prevista dall’IIS per l’acciaio F55.

Le simulazioni eseguite danno dei risultati che sono una conseguenza delle ipotesi iniziali considerate. Probabilmente agli estensori è sfuggita l’ipotesi che tenga conto del contributo della corrosione galvanica, conseguente alla porosità dello strato di nichel; l’entità di questo trascurato contributo è rilevante se è stato capace di scavare un foro profondo 3 mm in 2/3 anni.

- 14) Oltre alle affermazioni riportate da pag. 20 a 22, commentati sopra con argomenti puntuali, le domande in assoluto più critiche da porsi e non trattate nella Relazione sono le seguenti:
- a) Come mai la velocità complessiva di corrosione non è stata considerata come somma di

quella iniziale per areazione differenziale (o semplice ossidazione) più quella per corrosione galvanica? La presenza dello strato nobile (non protettivo) di nichelatura rispetto al substrato in acciaio basso legato induce una dissoluzione costante e continua di tale acciaio, che non trova modo di essere attenuata.

- 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?
- 15) Il capitolo 7 da pag. 24 “Mezzi e attività per il miglioramento della protezione contro la corrosione” ci sono molte affermazioni non condivise.

Entrando nel dettaglio, nel paragrafo “Generalità” nella nota 7 si cita un GdL che ha lavorato da gennaio a settembre 2016.

Né il Provveditore né i suoi Esperti erano a conoscenza che si stava lavorando alla definizione di procedure di protezione definitiva degli steli “Rivestendo il tensionatore, realizzato in 39NiCrMo3 e nichelato, con opportuni prodotti in modo da isolare il materiale dal contatto con l'ambiente corrosivo, proteggendo le zone critiche eventualmente presenti sia per porosità microscopiche originatesi nel trattamento di nichelatura sia per danneggiamenti generati durante le operazioni di movimentazione e montaggio”.

Si legge, (nel paragrafo 7.2 di pagina 24 “Risultati della sperimentazione”) che il GdL menzionato nella nota 7 della Relazione, “ha effettuato un intenso lavoro sperimentale teso ad individuare i prodotti migliori per conseguire la completa protezione del tensionatore nichelato.....”.

Gli Esperti del Provveditorato, citati come componenti di questo gruppo, non sono mai stati neanche messi a conoscenza di queste attività.

- 16) A pag. 25 della citata Relazione sono riportate le risultanze di prove effettuate su un acciaio basso legato (rivestito) considerandolo alla stregua di un acciaio inossidabile: ciò è concettualmente errato e pertanto non condivisibile da parte degli Esperti del Provveditore.
- 17) L'esito delle prove, riportato tra fine pagina 24 ed inizio pagina 25, non è condivisibile per le motivazioni esposte nel punto precedente.
- 18) E' emerso che con i risultati di tali prove il progettista e CVN hanno concepito un protocollo di protezione dei gruppi di aggancio: “Interventi migliorativi gruppi cerniera-connettore – Relazione Tecnica”, riportato nel paragrafo 7.3 di pagine 26 e 27.

Gli Esperti del Provveditorato criticano in toto quest'attività, perché non sostenuta da prove sperimentali con presupposti scientifici condivisibili.

Viste tutte le severe critiche formulate da noi (Esperti del Provveditorato) per questa Relazione, è naturale che non si ritenga di tale protocollo per garantire una durabilità degli steli come richiesto da progetto (50-100 anni).

In realtà in altra sede noi Esperti abbiamo considerato accettabili, e approvato, gran parte del citato protocollo, ma solo come provvedimento urgente e temporaneo per le altre

tre bocche di porto, in cui è già iniziata l'installazione delle paratoie, che però si protrarrà ancora per svariati mesi con rischi di corrosione. Escludiamo invece che quest'attività possa essere *risolutiva* per garantire la vita residua programmata ai gruppi di aggancio di tutte le bocche, senza uno studio sperimentale ben ponderato e scientificamente supportato.

- 19) Non si concorda con tutte le conclusioni riportate nel capitolo 8.
- 20) A pag. 30 sono date prescrizioni per la revisione dei manuali di manutenzione dei gruppi d'aggancio; anche quest'attività dovrebbero essere ricondotta nell'ambito di un GdL allargato e le risultanze andrebbero condivise prima di emanarle.
- 21) Ovviamente non si concorda neppure con la frase "Pertanto la durabilità richiesta in sede di stesura dei requisiti fondamentali del sistema (cioè 100 anni) può essere conseguita solo a prezzo di maggiori oneri di manutenzione rispetto a quanto previsto in sede di progetto".
- 22) Infine, rispetto all'urgenza segnalata per la bocca di Treporti ed alle soluzioni definitive da adottare si spera che in futuro tutti i passi e le decisioni possano essere condivise.

Considerazioni sull'Allegato 1

In primis si evidenzia che la Stress Corrosion Cracking per un acciaio al carbonio o basso legato esiste solo se ci si trova in ambienti in cui è presente H_2S , che invece non è presente nell'ambiente che ospita il MoSE.

A riguardo si sottolinea che la memoria presentata dal Prof. Mapelli prevede una modalità di risposta a corrosione per lo stesso acciaio assolutamente diversa. Non c'è nessun tempo d'inesco, propagazione e rottura, ma solo una risposta che nel tempo tende ad attenuarsi a causa dei prodotti di corrosione che si depositano in superficie rendendo più difficoltosa la diffusione sino all'interfaccia dell'ossigeno ed altri eventuali agenti corrosivi, come ad es. i cloruri.

E' piuttosto insolito presentare due memorie tecniche che rispetto allo stesso acciaio danno due risposte a corrosione diverse. Buon senso vorrebbe che almeno una delle due sia errata.

A pag. 36, infine, il capoverso sul comportamento a corrosione del riporto di nichel, che promuove la più volte citata dissoluzione dell'acciaio base, non è assolutamente congruente con la letteratura riportata. Quell'articolo si riferisce a riporti elettro-depositati di leghe ternarie (Development of a New Electrodeposition Process for Plating of Zn-Ni-X (X = Cd, P) Alloys: I. Corrosion Characteristics of Zn-Ni-Cd Ternary Alloys), che con il nostro caso hanno molto poco in comune.

Argomentazioni generali

Una perplessità suscita il fatto che lo studio effettuato non riguarda il campo strutturale, in cui la competenza di questi tecnici è riconosciuta, ma spazia a tutto campo, fino a sconfinare

nell'ambito della corrosione, terreno a volte ostico anche per degli esperti corrosionisti.

Ciò accade perché - a differenza di molti altri settori scientifici - tale materia è fortemente condizionata da numerosissimi parametri, per di più non sempre facilmente individuabili.

Non dubitiamo che questi studiosi possano avere una certa simpatia per i fenomeni corrosivi e di riflesso per la termodinamica e la cinetica dell'elettrochimica, ma rischiano – come è accaduto nel caso che ci riguarda – di seguire strade errate o fuorvianti, prima fra tutte quella di ritenere applicabili le analogie e quindi che certe leggi o principi o test validi per certe leghe possano essere estesi anche ad altre leghe. Qualche esempio:

- a) Gli acciai al carbonio hanno un comportamento a corrosione simile a quello dei basso legati, e differiscono invece di molto dagli inossidabili; pertanto, ciò che è valido per quest'ultimi acciai non lo è per le altre leghe, e ciò vale soprattutto per i test.
- b) In ambito corrosionistico è molto fuorviante deviare dalle reali condizioni di esercizio; non si può quindi invocare per i tensionatori del MoSE la validità delle Norme ISO 9223 e 9224, che si riferiscono *unicamente* ad atmosfere in spazi aperti (rurali, urbane, industriali, marine, ecc), dove l'influenza dell'aerazione e della ventilazione gioca un ruolo di primo piano, a differenza di ambienti angusti e privi di ventilazione, come quelli dove sono installati i gruppi di aggancio del MoSE. La corrosione è un fenomeno di superfici ed interfacce, influenzate da micro-climi localizzati; non a caso per simulare le diverse condizioni esistono test specifici.
- c) Sempre in ambito corrosionistico è concettualmente errato assumere velocità di corrosione costanti in situazioni dove operano congiuntamente molti meccanismi differenti (corrosione uniforme, galvanica, per aerazione differenziale, *pitting*, *crevice*, sotto tensione e in condizioni di fatica). *In definitiva la velocità di corrosione può variare nel tempo e nella direzione di propagazione in dipendenza delle condizioni termodinamiche locali che i consulenti non conoscono e quindi hanno trascurato.* In questo lavoro invece si è assunto, alterando il vero scenario della corrosione, una legge a cinetica costante (anche se parametrizzata) in tutte le simulazioni.
- d) Altri aspetti non condivisi sono:
 - a) Avere assunto un difetto esistente di 1,5 mm di profondità, al posto dei 3 mm effettivamente riscontrati.
 - b) Avere assunto cricche con geometria triangolare o semicircolare, non coerenti con un contesto di corrosione.

In definitiva si è trascurato il principio, che ogni problema di corrosione è diverso dagli altri e che non valgono analogie o similitudini, proprio in virtù delle numerosissime variabili che non si presentano né si combinano mai allo stesso modo.

L'appunto ricorrente che facciamo a questo studio è la completa mancanza di una approccio *corrosionistico scientifico, ponderato, e condiviso* durante l'elaborazione in un settore così complesso ed interdisciplinare. E' veramente incomprensibile che sia stato effettuato uno studio di vita residua con lo spirito del fai da te, senza avere l'umiltà del dubbio e senza avvertire

l'esigenza di un confronto con degli specialisti.

Venezia, 12 luglio 2017

Gian Mario Paolucci

Susanna Ramundo