

**BOCCA DI LIDO TREPORTI - GRUPPI DI AGGANCIO E TENSIONAMENTO****RISPOSTE DEI PROFF. INGG. CARLO MAPELLI E MARCO ORMELLESE  
ALLE RICHIESTE DI CHIARIMENTI DEI COLLAUDATORI STATICI  
SULLA RELAZIONE TECNICA  
"STIMA DELLA VITA RESIDUA DEGLI STELI TENSIONATORI"  
(elaborato TECHNITAL cod. MV089P-PE-TAR-0001-C0)**

Nota del 20 luglio 2017

---

Il presente documento fornisce le risposte alle richieste di chiarimenti formulate dai collaudatori statici proff. Brutti e Mascia in merito alla relazione tecnica sulla vita residua degli steli tensionatori di Treporti, redatta da Technital con la consulenza specialistica del Politecnico di Milano.

Di seguito sono riportati i chiarimenti richiesti.

***QUESITO n.1. Per quale motivo nelle analisi eseguite si è supposto un tasso di corrosione decrescente nel tempo?***

È bene ricordare che il fenomeno corrosivo osservato si è innescato a causa di percolamenti non attesi (o previsti) di acqua di mare, che hanno portato sia a corrosione della nichelatura, sia a corrosione sull'acciaio al carbonio sottostante in prossimità dei difetti della nichelatura o delle zone di nichelatura corrosa.

La legge utilizzata  $s=kt^{0.6}$  è una legge non lineare che può essere applicata al caso di corrosione generalizzata, evidenziato sullo stelo in prossimità delle zone in cui la nichelatura è completamente assente.

È bene sottolineare che qualsiasi forma di corrosione propaga solo se c'è acqua, e nel caso in esame la presenza di acqua massiva ristagnata non avviene tutti i giorni, ma solo per determinati periodi di tempo.

La presenza di eventuale condensa determina un avanzamento solo per il periodo di bagnato. Peraltro lo strato di ossidazione osservato presenta una buona aderenza sul tirante oggetto della verifica. Gli sforzi ciclici derivanti dall'analisi degli spettri non sono tali da comportare un significativo aggravio rispetto alla consueta condizione di corrosione generalizzata. I tassi di corrosione prevedono una legge con tasso decrescente.

***QUESITO n.2. In base a quali considerazioni si è assunto un esponente b nella (1) pari a 0.6?***

Perché risulta trattarsi del coefficiente sufficientemente elevato ed in genere utilizzato per la stima dei fenomeni di corrosione generalizzata, quale quello rilevato. Una volta assunto tale esponente la gravità del tasso di corrosione è determinata dal tempo e dalla velocità rilevata di corrosione rilevata dopo il primo anno.

***QUESITO n.3. In base a quali considerazioni si può considerare valido il tasso di corrosione sperimentato in assenza di esercizio per la vita normale del tensionatore?***

Il tasso di corrosione sul tensionatore è stato stimato sulla base della corrosione rilevata dopo 1.5 anni di esercizio e questo è il tempo che è stato considerato. E' da escludere che il componente durante l'esposizione aerea sia andato soggetto ad altri fenomeni di corrosione. Quindi si è misurato il tasso di corrosione in base al tempo di esercizio effettivo e dunque di esposizione del materiale.

Si tenga conto che lo strato di Ni, una volta corrososi localmente (quindi con rimozione localizzata dello strato nichelato) accelera la corrosione del ferro sottostante perché innesca un processo di corrosione galvanica con il ferro (come ampiamente noto nel caso della banda stagnata, dove rimozioni localizzate di stagno portano ad una rapida corrosione del ferro sottostante). Si badi che l'innescio di corrosione sul Ni nelle condizioni rilevate si realizza per la presenza di cloruri nell'acqua di mare aerata, successiva corrosione localizzata del Ni ed una volta che lo strato di ferro si scopre esso comincia a corrodersi più rapidamente a causa della corrosione galvanica tra il Ni rimanente ed il ferro sottostante. Una volta che il Ni sia stato completamente discagliato (a causa della corrosione del Fe sottostante) la corrosione rallenta, in quanto passa alla modalità di corrosione generalizzata che è chiaramente osservabile sul tensionatore.

***QUESITO n.4. Per quale motivo il progettista ha assunto un tempo di sviluppo del danno da corrosione pari a 1.5 anni?***

Perché è il tempo intercorso dall'entrata in funzione dello specifico tensionatore che è stato osservato (vedi punto seguente).

***QUESITO n.5. Su quale connettore è stato eseguito il rilievo di una profondità di cricca di 1.5 mm e con quale metodo di misura?***

Il rilievo dello stato di corrosione è stato eseguito sullo stelo n. 32 di Treporti che, avendo subito evidenti fenomeni corrosivi, diffusi e localizzati, era stato a suo tempo trasferito per un esame più approfondito presso i laboratori FIP, ove è tuttora giacente.

L'esame da parte degli scriventi è avvenuto in data 17 ottobre 2016 presso i suddetti laboratori. Durante il sopralluogo sono state misurate le dimensioni delle ulcere che si sono sviluppate sporadicamente in corrispondenza delle regioni incrostate dai prodotti di corrosione.

Le misurazioni sono avvenute tramite un calibro di saldatura dell'Istituto Italiano della Saldatura.

***QUESITO n.6. Per quale motivo l'analisi del progettista è limitata ad una sola sezione?***

Perché si tratta della sezione minima (quindi quella interessata dallo sforzo maggiore) e contemporaneamente è quella interessata dai maggiori fenomeni di corrosione osservati sul tensionatore.

**QUESITO n.7. Per quale motivo l'analisi svolta non tiene conto di tali coefficienti di concentrazione?**

Perché il filetto non è interessato dal fenomeno corrosivo osservato (il cambiamento di colorazione che si nota sui primi filetti è solo sporco percolato dalla parte superiore) e la testa appare interessata da un fenomeno corrosivo poco significativo rispetto a quello che si presenta sulla sezione minima che è stata presa in considerazione; il calcolo è stato svolto quindi sulla sezione minima che è anche quella maggiormente interessata dal fenomeno di corrosione generalizzata che è stato osservato.

**QUESITO n.8. Per quale motivo si assume nel calcolo  $K_t = 3$ ?**

Perché va presa in considerazione la forma del pit di corrosione che (nel caso di pit osservato) tende ad essere emisferica (di per sé è già un'assunzione in favore di sicurezza, in quanto il pit era più largo che profondo). Durante l'eventuale propagarsi della corrosione la forma del pit tende a rimanere emisferica e nel caso osservato il raggio di curvatura tende ad aumentare (quindi la condizione diviene meno critica) visto che il processo è quello di corrosione generalizzata, pertanto il fattore di amplificazione considerato risulta essere plausibile ed in favore di sicurezza per le condizioni che sono state prese in considerazione.

**QUESITO n.9. Per quale motivo non si è considerato il valore massimo nella sezione circolare pari a 4/3 di quello medio?**

Perché non modificava in modo significativo il risultato finale.

**QUESITO n.10. Qual'è la ragione per cui si è assunta la concomitanza di tutti gli sforzi nello stesso punto?**

Per mettersi nelle condizioni peggiori e svolgere una verifica che fosse in favore di sicurezza.

**QUESITO n.11. Perché il progettista non considera lo spettro di progetto?**

Lo spettro di carico utilizzato (pag. 38 della relazione sulla vita residua), differisce in parte dallo spettro di progetto - mantenendone invariato il numero totale di cicli di carico - in quanto assume un involuppo delle azioni più realistico, che limita i carichi ciclici ai valori massimi effettivamente riscontrati, indicati nella tabella di pag. 20 (riportata in allegato) della relazione MV089P-PE-TMR-3203 "Relazione di calcolo Gruppo di aggancio e tensionamento - Parte meccanica"; ciò al fine di evitare un approccio eccessivamente cautelativo.

In particolare, la forza verticale oscillante, che nello spettro di progetto assumeva sempre valori identici alla forza orizzontale, è stata limitata ai valori massimi di 750 kN e 1250 kN (rispettivamente per dislivello mare-laguna di 0,30 m e 0,70 m); ne consegue, per ciascuno dei due gruppi di classi di carico, la modifica delle classi più elevate (precisamente le classi 6-7, ora VI-A e VII-A, e le classi 16-17, ora IX-B e X-B), mentre la precedente classe 18 è stata soppressa in quanto non realistica.

Riguardo, infine, al numero di cicli, per ciascuna classe è stato scelto il caso più sfavorevole, come evidenziato nella tabella allegata.

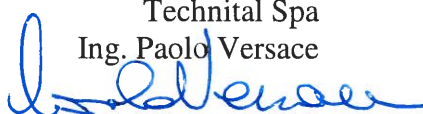
***QUESITO n.12. Perché il progettista considera nella verifica a fatica un numero di cicli pari a 2.000.000?***

Perché si tratta del dato sperimentale indicato nel Rapporto di Prova 12252-2009 dell'Istituto Breda.

***QUESITO n.13. Per quale motivo non si è inserita la riduzione di resistenza derivante dalla corrosione?***

Anzitutto si mostra un segmento asimmetrico per mostrare come l'escursione massima (sopra la media e sotto la media) sia comunque contenuta nella regione di sicurezza del diagramma sperimentale; si segnala che, contrariamente da quanto affermato, nelle condizioni osservate non vi è la presenza di alcuno stato compressivo, ma solo stati di sforzo sotto la media di sollecitazione ma pur sempre in trazione.

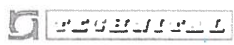
In secondo luogo si considera un diagramma con resistenza ridotta in presenza di acqua salata, se non si tenesse conto della presenza di intagli formati dalla corrosione, mentre se si include la presenza di intagli e la diminuzione di sezione dovuta al fenomeno corrosivo si utilizza il diagramma in forma non ridotta; se si considerasse il diagramma in forma ridotta e si tenesse conto contemporaneamente della presenza di intagli e della diminuzione di sezione si terrebbe due volte conto degli effetti prodotti dal medesimo fenomeno sulla resistenza del materiale. Il diagramma in forma ridotta, si presenta con campo di sicurezza di dimensione inferiore in quanto tiene conto di questi effetti durante la prova di fatica in acqua salata.

Technital Spa  
Ing. Paolo Versace  


**ALLEGATO:**

**SPETTRO DI CARICO UTILIZZATO PER LA STIMA DELLA VITA RESIDUA**

---

	Rev. C0	Data: 10/05/10	El. MV089P-PE-TMR-3203	Pag. n. 20
	Rev.	Data:	RELAZIONE DI CALCOLO PARTE MECCANICA	

R conn (kN)	Rv+	Rv-	Ro+	Ro-
125	5,408,197	5,382,101	5,342,336	5,353,054
250	241,563	222,953	290,400	277,235
375	44,593	74,591	57,304	54,343
500	5,219	16,938	9,199	10,902
625	428	3,308	761	3,273
Rv max ---->	750	0	109	0
Ro max ---->	1000	0	0	0
	1250	0	0	0
	1500	0	0	0
	1750	0	0	0
	2000	0	0	0
somma	5,700,000	5,700,000	5,700,000	5,700,000

Il rimanente 5% dei cicli risulta invece concomitante ad una marea con dislivello mare-laguna di 70 cm cui corrispondono sul connettore le seguenti forze statiche:  $F_h = +560\text{kN}$  e  $F_v = -280\text{kN}$ . Nella tabella seguente è riportato lo spettro di carico di progetto in presenza di dislivello di 70cm.

R conn (kN)	Rv+	Rv-	Ro+	Ro-
125	107,791	97,515	88,585	90,455
250	97,411	87,538	89,756	93,857
375	55,124	47,412	57,381	53,140
500	29,108	35,644	24,243	22,794
625	7,637	19,470	21,333	18,618
750	2,213	9,148	7,004	7,791
1000	659	3,153	7,391	9,191
Rv max ---->	1250	56	117	3,301
	1500	0	4	887
Ro max ---->	1750	0	0	118
	2000	0	0	0
somma	300,000	300,000	300,000	300,000

Nelle tabelle precedenti, le colonne 2÷5 indicano il numero di eventi atteso per la classe di carico riportata nella prima colonna, per ciascuna componente di forza con la consueta convenzione di segno:

$F_v +$  = forze verticali dirette verso l'alto (di strappo)

$F_v -$  = forze verticali dirette verso il basso

$F_h +$  = forze orizzontali dirette verso la laguna

$F_h -$  = forze orizzontali dirette verso il mare

Pertanto i valori riportati sulla medesima riga non sono da intendersi come concomitanti, ma le singole colonne risultano indipendenti l'una dall'altra.