

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

MAGISTRATO ALLE ACQUE

di VENEZIA

Progetto Mo.S.E

Prove aggiuntive di verifica sull'elemento maschio della cerniera

Relazione a cura dell'esperto metallurgico del MAV

Prof. Ing. Gian Mario Paolucci

Indice

Premessa	pag.	1
Individuazione delle sezioni di taglio	"	3
Programma di prove	"	4
Valutazione tensionale	"	4
Indagine macrografica	"	6
Prove meccaniche	"	7
Prove di fatica	"	7
Conclusioni	"	10

Appendice A – Indagine sulla sella d'appoggio del tensionatore

Allegati

- A** – Sezioni più sollecitate
- B** – Deformazioni dopo taglio
- C** – Macrografie

Padova, 12 dicembre 2014

G.M.P.

Premessa

Questo documento valida i risultati della sperimentazione effettuata sul maschio della preserie del connettore/cerniera con alcune prove supplementari di verifica. Infatti, inizialmente tale sperimentazione era prevista su alcune unità di connettore/cerniera (di qui la dizione *preserie*, a indicare più elementi); successivamente il loro numero è stato ridotto dapprima a due e, infine, a uno solo (un elemento maschio, un elemento femmina, un tensionatore e due perni) per ragioni indipendenti dalla volontà di chi scrive, conservando peraltro la dizione *preserie*.

Dopo una verifica accurata delle dimensioni di questi elementi, costituenti una cerniera completa, l'intero apparato è stato inizialmente sottoposto a test non distruttivi (come da documento B.7.03/II), per assicurarsi dell'integrità fisica dei singoli manufatti, poi a prove funzionali statiche e dinamiche con le medesime condizioni di carico previste in servizio. A seguito di tali prove sono state nuovamente eseguite le più significative misure dimensionali sugli elementi maschio e femmina per verificare che i test di carico non avessero alterato significativamente la geometria della forma e delle dimensioni dei componenti; infatti, se nella produzione di serie si verificassero alterazioni di carattere geometrico, potrebbero risultare compromessi il montaggio e lo smontaggio della cerniera. Per fortuna l'esito delle prove non ha messo in evidenza alcuna anomalia, il che ha consentito di validare sia la progettazione sia la funzionalità del connettore/cerniera^[1]. Tuttavia, un eccesso di scrupolo – suggerito allo scrivente dall'unicità dell'elemento in prova – lo ha indotto a ipotizzare tre possibili tipologie di problematiche negative e, di conseguenza, i test utili a identificare tali problematiche.

a) Presenza di tensioni residue

In realtà l'accertata invarianza dimensionale del prototipo non esclude la possibilità che siano ancora presenti tensioni interne nel manufatto. Infatti, il ciclo di produzione degli elementi maschio e femmina della preserie, esteso poi alla serie – e realizzato con ampio ricorso a operazioni di saldatura e riporti per fusione di leghe inossidabili, vista la scelta della tecnica di formatura per carpenteria operata dal Concessionario – ha previsto un solo trattamento di ricottura distensiva^[2], effettuato prima di alcune saldature e prima di tutte le placature. Di qui la possibilità che alcune tensioni residue permangano nei manufatti – soprattutto nel maschio, che è l'elemento che prevede cordoni di saldatura con il maggiore volume di materiale d'apporto soggetto a ritiro di

¹ In realtà le prove hanno permesso di individuare e risolvere qualche piccola anomalia su taluni elementi di componentistica e ottimizzare alcune fasi costruttive; le soluzioni individuate – e positivamente testate – sono state poi trasferite sulla produzione di serie.

² Si è trattato di una soluzione di ragionevole compromesso, accettata dallo scrivente dopo avere interpellato un noto tecnico tedesco esperto di saldature per fusione.

6.1.9

solidificazione – e si sommino algebricamente con gli sforzi agenti in esercizio, provocando deformazioni postume che rendano difficoltoso l'inserimento del maschio nella femmina durante il montaggio iniziale delle paratoie o nel corso della prevista manutenzione.

Dopo avere valutato le possibili modalità di misurare la presenza di tensioni residue in una struttura complessa come quella del maschio, lo scrivente ha optato per una valutazione indiretta, ma efficace, di tali tensioni attraverso misure dimensionali, come più avanti descritto.

b) Presenza di alterazioni microstrutturali interne

Le prove di controllo a cui è stato sottoposto il prototipo durante il collaudo, con sforzi statici e dinamici, potrebbero avere creato – nei cordoni di saldatura maggiormente sollecitati – zone stressate, modificazioni microstrutturali interne o, addirittura, microlesioni, invisibili ai controlli non distruttivi^[3].

È stato quindi previsto di sottoporre campioni significativi del prototipo a controlli metallografici e meccanici, che sono utili a individuare tali anomalie.

c) affaticamento strutturale delle saldature

Per un eccesso di precauzione si è pensato che le saldature del maschio potrebbero avere subito un affaticamento a livello submicroscopico ad opera delle precedenti prove di collaudo, soprattutto nelle zone del profilo che risentono maggiormente di concentrazione delle tensioni. Anomalie di questo tipo potrebbero sfuggire all'indagine microscopica e influenzare negativamente il comportamento a fatica del manufatto. Le prove di fatica, su provette prelevate in queste possibili zone critiche, potrebbero segnalare inconvenienti di questo tipo, essendo tale prova sensibile a queste alterazioni.

Un risultato completamente negativo dell'intero complesso di tali prove aggiuntive, ancorché non costituisca una garanzia al 100% contro eventuali inconvenienti sulla produzione di serie, ridurrebbe il rischio (in termini statistici) sulla probabilità di avere problemi in fase di montaggio e smontaggio delle cerniere, e – nel caso peggiore – di avere cedimenti strutturali.

Poiché tutti i test previsti, essendo di natura distruttiva, prevedevano il sezionamento del maschio, si è analizzata e, quindi, individuata la posizione delle sezioni di taglio.

La procedura riguardante il taglio del maschio, la scelta delle prove e le loro modalità, nonché la scelta dell'organismo incaricato della loro esecuzione è stata oggetto di ana-

³ Si rammenta che da un punto di vista metallurgico il manufatto perfetto non esiste, tant'è che nel controllo con ultrasuoni qualunque Normativa prevede un valore di difettosità al di sotto del quale il manufatto in prova è da considerare accettabile.

G.M.P.

lisi critica e accordo tra lo scrivente e l'ing. G.P. COLATO, responsabile dell'ufficio tecnico del Costruttore delle cerniere (FIP Industriale di Selvazzano Dentro, PD).

Individuazione delle sezioni di taglio

La geometria simmetrica dell'elemento maschio e quella asimmetrica dei carichi agenti su di esso ha suggerito di chiedere al progettista del connettore (*TECHNITAL*) la mappatura degli sforzi massimi agenti sul maschio in esercizio. Come risposta ci è stato comunicato che le saldature più sollecitate sono localizzate sul bordo del disco (vedi **Allegato A**), in corrispondenza dell'innesto del disco superiore sui piatti verticali (saldatura tipo 1) e alla base delle costole trasversali (saldature tipo 2): a detta del progettista gli stati di sforzo ultimi (valori equivalenti secondo VON MISES) sono i seguenti:

$$\sigma_1 \sim 200 \text{ MPa}; \quad \sigma_2 \sim 200 \div 250 \text{ MPa}$$

Ciò ha consentito di individuare una porzione di manufatto che comprendesse le zone più sollecitate e, quindi, l'asportazione di un intero quarto di elemento maschio, come da figura 1(a, b, c); in quest'ultima le sezioni di taglio sono rappresentate in colore verde.

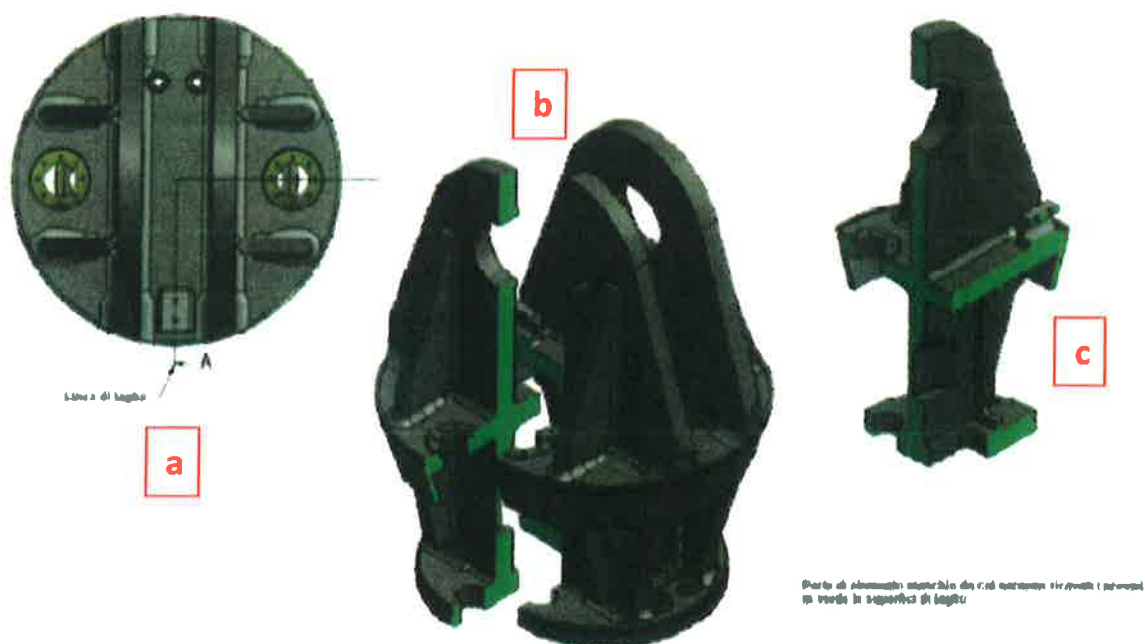


Fig. 1 – Rappresentazione delle sezioni di taglio del maschio

Le dimensioni dell'elemento maschio hanno creato qualche difficoltà nella ricerca presso terzi di un impianto che desse determinate garanzie sia per ciò che riguarda il taglio a freddo (per assicurare l'inalterabilità microstrutturale dell'acciaio), sia per l'otteni-

G.M.P.

mento di sezioni perfettamente radiali; la ricerca è stata resa più difficoltosa dalle dimensioni insolite del manufatto da tagliare. La scelta è caduta sulla ASU ACCIAI di Limena (PD), dotata di un idoneo impianto di taglio a freddo; questa operazione, molto delicata per la valutazione delle tensioni residue, è stata effettuata alla presenza dello scrivente.

Programma di prove

Il previsto programma complessivo delle prove sperimentali era costituito da:

- 1) valutazioni tensionali, da ricavare attraverso misure dimensionali;
- 2) indagine metallografica (macrografie e microdurezza);
- 3) prove meccaniche (di trazione, di resilienza, di durezza);
- 4) prove di fatica.

Le prove meccaniche 3) e 4) sono state eseguite su provette prelevate nella zona più sollecitata, resa ancora più critica dalla presenza del giunto saldato a croce. Nella fig. 2 sono riportate le posizioni delle relative provette.

Valutazione tensionale

Scopo di questa prova era quello di verificare se le operazioni di saldatura eseguite dopo il trattamento di distensione avessero creato delle tensioni interne che in tempi successivi potessero alterare le dimensioni e/o la forma del maschio; in caso affermativo si sarebbe valutato se la loro intensità potesse costituire un problema in esercizio per l'azione aggiuntiva dei carichi di progetto.

Tra i metodi a disposizione per la valutazione di sforzi residui si è scelto il più efficace, ancorché indiretto, vale a dire quello del rilascio delle tensioni elastiche.

Se in un solido omogeneo, isotropo^[4] e continuo sono presenti tensioni agenti in regime elastico, come sono quelle residue, esse obbediscono alla legge fondamentale dell'elasticità, quella di HOOKE, che nel caso di sforzi normali (di trazione e compressione) vale:

⁴ È assai probabile che un manufatto metallico saldato, come il maschio di una cerniera, l'isotropia microstrutturale non sia totalmente soddisfatta; tuttavia, sia per il fenomeno denominato *isotropia di compenso*, sia perché gli sforzi in gioco comunque sono di molto inferiori al limite di snervamento dell'acciaio usato, si ritiene di potere utilizzare la legge fondamentale dell'elasticità con un'approssimazione soddisfacente per i nostri scopi.

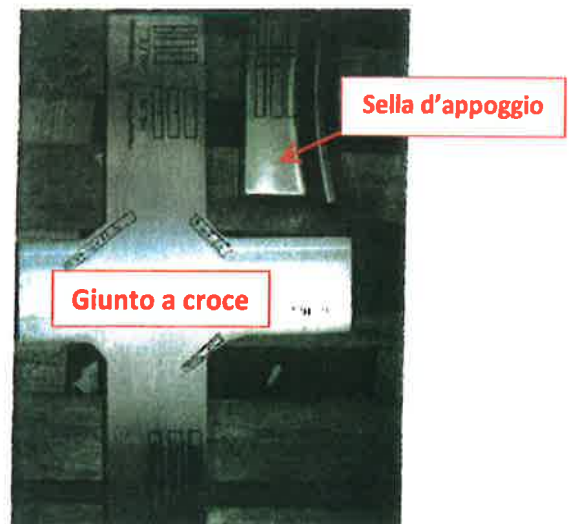


Fig. 2 – Posizione dei provini prelevati nel giunto a croce e nella sella.

G.M.P.

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Poiché a temperatura ambiente il modulo E di elasticità longitudinale di una lega metallica non risente di trattamenti termici, incrudimenti o alterazioni microstrutturali, la presenza in un manufatto di una variazione dimensionale, evidenziata da un valore di $\epsilon \neq 0$, denuncia l'esistenza originaria di una tensione residua σ che ha generato a questa deformazione. Supponiamo, allora, che nel maschio non sezionato siano presenti tensioni interne, che però sono totalmente equilibrate dalle forze di coesione atomica della lega; se si effettua il taglio del manufatto su un piano opportuno, la tensione σ – se presente – non è più vincolata dai vincoli di rigidità, per cui si scarica, producendo una deformazione ϵ , evidenziata dall'allontanamento (in caso di trazione) o di avvicinamento (se di compressione) delle due superfici di taglio. Pertanto, se in un manufatto si misurano prima e dopo il taglio le distanze tra opportuni punti di riferimento precedentemente individuati, valori di ϵ diversi dallo zero denotano la preesistenza di tensioni interne.

Si comprendono la necessità e l'importanza di un'accurata misurazione dimensionale del maschio prima e dopo il taglio; tale misurazione è stata eseguita dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Padova e dalle Officine Meccaniche Zanetti di Vicenza, utilizzando due strumenti diversi; una volta verificata l'assoluta uniformità dei risultati si è eseguita l'analisi delle misurazioni, anche queste alla presenza dello scrivente.

Le misurazioni pre-taglio del maschio sono state eseguite il 14 maggio u.s., tra le 13.45 e le ore 16.30 circa, e quelle post-taglio il 16 maggio u.s. tra le 13,50 e le 16,30, sempre alla presenza di chi scrive, tenendo sotto controllo la temperatura dell'ambiente. Per il dettaglio delle misure si rimanda alla relazione emessa dalla struttura universitaria che ha eseguito le prove (vedi *Caratterizzazione geometrica dell'Elemento Maschio pre e post-sezionamento per studio dello stato di tensione residuo - Risultati delle misurazioni effettuate*, a firma dei Proff. Gianmaria CONCHERI e Roberto MENEGHELLO del Dipartimento ICEA – Università di Padova).

Nell'**Allegato B** si riportano i risultati riassuntivi di tali misure, che si prestano ai seguenti commenti:

- 1) per effetto del sezionamento longitudinale l'elemento maschio si è deformato, allargandosi nella zona inferiore e restringendosi nella zona superiore;
- 2) l'allargamento si è verificato nella superficie conica superiore di contatto tra l'elemento maschio e l'elemento femmina, ed è risultato, in termini adimensionali, dell'ordine di 0,0004;
- 3) tale divaricamento lascia presupporre, secondo l'ing. COLATO della FIP Industriale, la presenza di tensioni residue dell'ordine degli 80 MPa.

G.M.P.

Tale valore andrebbe sommato, nella peggiore delle ipotesi (direzione e segno concorde degli sforzi), alle tensioni di esercizio che il Progettista TECHNITAL ha stimato in $200 \div 250$ MPa, giungendo così a $280 \div 330$ MPa. Se pensiamo che l'acciaio con cui è stato realizzato il maschio in esame è del tipo S355, la cui tensione di snervamento per gli spessori più grandi è ≥ 295 MPa, si vede che gli sforzi totali potrebbero anche superare la tensione di snervamento, il che porterebbe a ridurre o addirittura a eliminare il gioco tra le parti coniche del maschio e della femmina, provocando il loro incastro. In realtà occorre tenere conto che:

- a) il progetto del maschio prevede una serie di nervature di irrigidimento, che neutralizzano molto bene le tensioni interne, come abbiamo constatato sul maschio della preserie;
- b) le effettive tensioni di snervamento delle lamiere utilizzate sono certamente superiori a 295 MPa, come noi stesso abbiamo riscontrato in occasione della caratterizzazione delle lamiere, rilevando $315 \div 333$ MPa;
- c) i valori di $200 \div 250$ MPa si riferiscono agli stati ultimi, possibili ma meno probabili;
- d) la preserie del maschio in esame è stata realizzata con un ciclo di saldature non al meglio della tecnologia, mentre la produzione di serie ha beneficiato di un insieme di miglioramenti tecnologici, volti anche a ridurre la manualità delle operazioni, soprattutto per ciò che riguarda l'ottimizzazione della successione delle saldature; ciò ha sicuramente portato a evidenti diminuzioni delle tensioni residue.

È soprattutto quest'ultima considerazione che riduce (ma sarebbe meglio dire elimina) il rischio d'incastro e ridimensiona l'entità del problema.

Indagine macrografica

Tale indagine, richiesta dallo scrivente che ha presenziato al suo svolgimento, è stata condotta per evidenziare eventuali alterazioni microstrutturali indotte dalle saldature, dove per di più gli sforzi statici e dinamici agenti durante le prove funzionali potrebbero avere causato la formazione di microfessurazioni o microvuoti (rilevabili con macrografie).

Tali prove, eseguite presso il laboratorio accreditato del CTR S.r.l. di Limena (PD) e certificate in data 19-09-2013, hanno riguardato sia il giunto saldato a croce, visibile in fig. 2 (comprendendo il materiale base, la zona termicamente alterata e il materiale d'apporto), sia l'imburratura, anch'essa fonte di tensioni interne, il cui provino è stato ricavato in corrispondenza della circonferenza della piastra superiore.

Dai risultati ottenuti, evidenziati dalle macrografie riportate in **Allegato C** e tratti dal documento RPR N°131490-1- rilasciato dal CTR, non si sono riscontrate anomalie di alcun tipo. Si può anzi osservare l'ottima penetrazione di tutti i cordoni di saldatura, a di-

mostrazione che la tecnica di giunzione impiegata è stata del tutto efficace.

Prove meccaniche

Tali prove hanno riguardato test di resistenza statica (prova di trazione), di resilienza (prova Charpy a V) e di durezza (HV_{10}). Anche in questo caso il controllo, eseguito il 19-09-2013, è stato effettuato nei laboratori del CTR S.r.l. di Limena (PD) in presenza dello scrivente. I risultati sono riportati nel documento RPR N°131490-1.

Dal loro esame si evince che:

- i valori di trazione nelle provette ricavate nei giunti saldati, in particolare le tensioni di snervamento, superano tutte quella minima (295 MPa) prevista dalla Norma, sia nella zona attraverso la saldatura ($R_{eH} = 320 \div 342$ MPa) sia in quella del metallo base ($R_{eH} = 305 \div 316$ MPa);
- tutti i valori di resilienza (a -20°C) – compresi quelli ottenute dalle provette prelevate nelle zone peggiori e nella direzione più penalizzata (trasversale in zona fusa e in zona termicamente alterata) – superano di $2 \div 4,5$ volte il valore minimo di Norma (40 J), come si rileva dall'esame della tabella 1; in alcuni casi la resilienza della zona termicamente alterata supera addirittura quella del materiale base, in virtù di un processo di affinamento della grana cristallina operato col sistema di saldatura *multi-pass*.

Tab. 1 - Risultati della prova di resilienza a -20°C

Trasversale in zona fusa	Trasversale in ZTA	Longitudinale in materiale base	Trasversale in materiale base
148 ÷ 189 [J]	137 ÷ 161 [J]	88 ÷ 128 [J]	74 ÷ 126 [J]

- Le prove di macrodurezza Vickers (HV_{10}) riguardanti il giunto a croce sono state eseguite su provini prelevati dal materiale base, in zona fusa e in zona termicamente alterata. I valori nel materiale base si aggirano attorno a $140 \div 150$ HV (compatibili con quelli di un acciaio tipo S355), mentre in zona fusa salgono attorno a 180 e in ZTA arrivano fino a 219 unità. Tali valori rientrano nella normalità per un giunto saldato di dimensioni e spessori come quelli in esame (valori attesi secondo letteratura: $200 \div 300$ HV).

Le prove di macrodurezza relative all'imbruttatura, anch'esse riportate nel documento RPN N°131490-1, non denunciano anomalie di sorta.

Prove di fatica

La finalità di queste prove – che possono essere considerate la migliore conferma funzionale dei test precedenti – è stata quello di valutare la vita di campioni prelevati dal maschio della preserie, oggetto della presente relazione, che era già stato sottoposto alle

G.M.P.

prove di fatica previste per il collaudo nell'ambito dello studio B.7.03/II. In particolare con queste prove aggiuntive è stata verificata sperimentalmente la resistenza a fatica per ulteriori 100 anni di servizio, corrispondenti a 3.800.000 cicli sulla base dello spettro di carico fornito dalla FIP Industriale e previsto dal progettista TECHNITAL (vedi Tabella 2), in quanto nessuno delle provette testate è pervenuto a rottura, né ha evidenziato segni di cedimento prematuro.

Tab. 2 - Istogramma di carico applicato ai campioni sottoposti a prova a fatica

σ_{\max} [MPa]	σ_{\min} [MPa]	N° cicli
+61	-57	2'300
+50	-37	37'500
+32	-23	348'500
+19	-20	3'411'700
N° totale cicli		3'800'000

I campioni prelevati dal connettore maschio avevano geometria a T con saldature a piena penetrazione; essi sono stati sottoposti a prove di fatica assiali, prelevandone 3 dalla zona soggetta alla massima tensione durante le prove di fatica di collaudo svolte presso FIP Industriale, mentre altri 3 campioni sono stati prelevati dalla zona soggetta a minima tensione.

Le prove sono state eseguite presso il Dipartimento di *Ingegneria Industriale* (sez. *meccanica*) dell'Università di Padova sulla base della Specifica Tecnica del 23 gennaio 2013 fornita dalla FIP Industriale e pervenuta a quest'ultima dal Progettista (WBS: LT.I1.48 WBE: LT.I1.48.PE.05° BOCCA DI LIDO TREPORTI – PARATOIE E CONNETTORI CONNETTORI – ELEMENTO MASCHIO – PROVE AGGIUNTIVE SULL'ELEMENTO MASCHIO).

Stante l'importanza e la delicatezza del test, è stato previsto un protocollo di prova alquanto articolato e severo, che può essere così riassunto:

- ispezione visiva e indagine fotografica macro del piede del cordone di saldatura di ciascun campione saldato avente geometria a T (vedi frecce rosse in Fig. 3);
- montaggio in macchina del campione;
- esecuzione della prova a fatica in controllo di forza mediante applicazione dell'istogramma di carico a blocchi con acquisizione della rigidità;
- al termine della prova a fatica, in caso di assenza di rottura, ripetizione dell'ispezione visiva e dell'indagine fotografica macro al piede del cordone

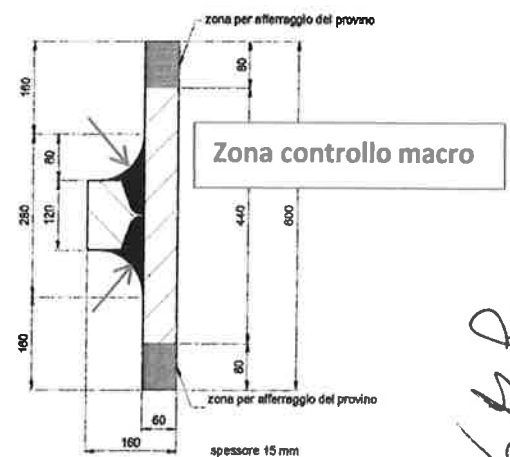


Fig. 3 – Geometria del provino di fatica

di saldatura.

Tab. 3- Risultati delle prove a fatica dopo 3'800'000 cicli.

Codice provino	Dimensioni del piatto principale [mm]	Note
A-Esterno1	58.5 x 15.1	Nessun segno di macro danneggiamento
A-Esterno2	58.1 x 14.9	Nessun segno di macro danneggiamento
A-Esterno3	57.8 x 14.7	Nessun segno di macro danneggiamento
B-Interno 1	60.1 x 15.2	Nessun segno di macro danneggiamento
B-Interno2	60.0 x 15.1	Nessun segno di macro danneggiamento
B-Interno3	59.3 x 14.5	Nessun segno di macro danneggiamento

Al termine dell'indagine sperimentale con prove di fatica assiale – di cui nella Tabella 3 si riassumono i risultati – si evince che:

- non sono stati riscontrati evidenti segni di danneggiamento a fatica al piede del cordone di saldatura dei 6 campioni **prima** di sottoporli alla prova, limitatamente alle possibilità di rilievo del danneggiamento con foto macro 10X e 20X; lo stesso dicasi per l'indagine effettuata **dopo** le prove a fatica (nella Fig. 4 sono riportate le immagini macro riprese nello stesso punto della provetta *A-Esterno 2-1* a titolo d'esempio "una per tutte");
- nessuno dei sei campioni – di cui tre prelevati da una zona soggetta ad elevata sollecitazione nelle precedenti prove a fatica svolte presso la FIP Industriale e tre prelevati da una zona poco sollecitata – sottoposto a prova di fatica ha manifestato segni di cedimento durante o alla fine del test; infatti, la concentrazione delle tensioni che si manifesta nei punti di raccordo è modesta (qualche MPa) e, dunque, largamente accettabile.

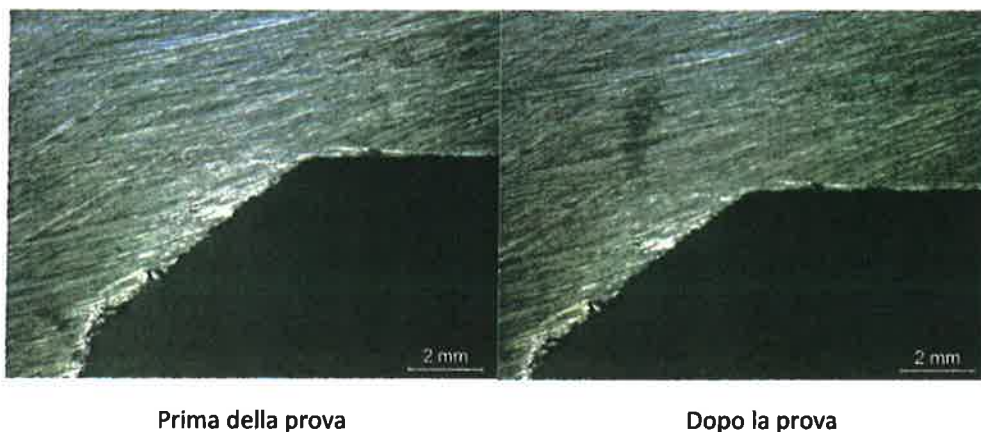


Fig. 4 – Immagine macro dello stesso punto del provino A-Esterno 2-1 prima e dopo la prova di fatica

G.M.P.

Conclusioni

L'elemento maschio oggetto delle prove aggiuntive descritte nella presente relazione, era stato costruito durante la sperimentazione effettuata nell'ambito dello Studio B.7.03/II ed era già stato sottoposto a tutta la campagna di prove ivi prevista al fine di validarne la progettazione e le procedure di costruzione, per una vita utile complessiva di servizio di 50 anni e di 100 anni relativamente alla cerniera.

Le prove aggiuntive hanno riguardato l'eventuale presenza di tensioni residue e di alterazioni microstrutturali, nonché la verifica di un possibile affaticamento causato dalle precedenti prove di collaudo.

Circa le tensioni residue, in effetti si è evidenziata la loro presenza in una misura che nel peggiore dei casi l'ufficio tecnico della FIP Industriale stima in circa 80 MPa. Tuttavia, ci sono valide ragioni per ritenere che questo valore (da sommare algebricamente alle tensioni massime di progetto (200/250 MPa) in realtà risulti inferiore nella produzione di serie, poiché quest'ultima è stata realizzata con una tecnica di saldatura ottimizzata, più affinata e, dunque, meno tensionata.

L'indagine macrografica non ha rivelato la presenza di alterazioni microstrutturali nelle zone interessate dalle saldature più critiche.

Le prove meccaniche statiche (di trazione e di durezza) e dinamiche (di fatica) non hanno messo in evidenza affaticamenti delle zone saldate più sollecitate, il che conferma l'affidabilità della progettazione e della tecnica costruttiva utilizzata per la realizzazione delle saldature dell'elemento maschio. Poiché i giunti maggiormente sollecitati di quest'ultimo hanno superato indenni anche una replica delle prove di fatica, ci si attenderebbe un raddoppio della vita utile al manufatto.

Inoltre, i risultati delle suddette prove meccaniche (di trazione e di durezza) hanno confermato non solo la corrispondenza dei materiali utilizzati nella costruzione del maschio prototipale con quelli previsti a progetto, ma anche il mantenimento delle loro caratteristiche prestazionali anche dopo i test di collaudo e l'indebolimento che ne è derivato.

In fede

Padova, 12 dicembre 2014

Gian Mario Paolucci



Appendice A

Indagine sulla sella d'appoggio del tensionatore

Nel corso delle prove aggiuntive sull'elemento maschio si è anche ritenuto di eseguire un controllo della sella d'acciaio superduplex (X2CrNiMoN 27-5-4, alias 1.4410), sulla quale appoggia il tensionatore della cerniera, per verificare eventuali alterazioni provocate dalla testa a martello sulla superficie d'appoggio sotto la pressione esercitata in fase di tiro.

L'indagine prescelta ha riguardato aspetti metallografici (macrografia) e meccanici (trazione e microdurezza), eseguite su provette prelevate come indicato in fig. A1; tali prove, eminentemente metallurgiche, sono da noi ritenute idonee per verificare la presenza di eventuali anomalie generate dal tensionatore alla microstruttura dell'acciaio in fase di lavoro. Inoltre, a parte, è stato eseguito un rilievo delle selle d'appoggio del tensionatore, disassemblate dall'elemento maschio, in modo da poterne confrontare il profilo con quello teorico di costruzione.

Le prove sono state effettuate – alla presenza dello scrivente – nel medesimo laboratorio (CTR S.r.l. di Limena, PD) che ha eseguito l'indagine sul maschio e che ha rilasciato il rapporto di prova RPR N° 131490/2 datato 19-09-2013.

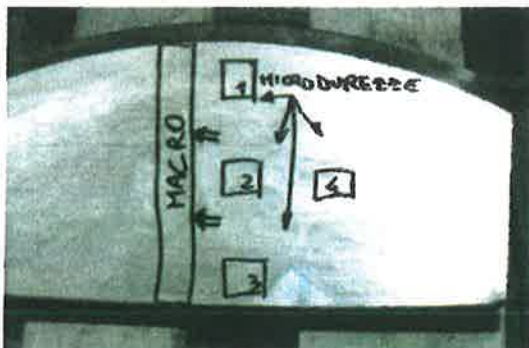


Fig. A1 – Provini d'indagine della sella



Fig. A2 – Immagine macrografica della sella

Macrografia

La macrografia, riportata in Fig. A2, non evidenzia anomalie di alcun tipo, segno dell'inalterabilità macrostrutturale dell'acciaio dopo tutti i test, controlli e collaudi subiti.

Prove di trazione

Analogamente all'indagine macrografica, nemmeno la prova di trazione, eseguita su n° 3 provini, ha evidenziato anomalie di sorta, in quanto i valori delle tensioni caratteristi-

G.M.P.

che rilevati ($R_{p0,2}$ e R_m) e dell'allungamento % rientrano nella Norma e sono conformi e coerenti con quelli dei certificati di origine del materiale.

Prove di microdurezza

Le prove di microdurezza HV_1 , sensibili ad anomalie microstrutturali, sono state eseguite su 4 provini (ved. Fig. 1) e hanno dato risultati alquanto uniformi, come si rileva nella tabella sottostante, in cui sono riassunti i 4 valori medi con la rispettiva deviazione standard, a significare l'entità della dispersione dei valori. Infatti, i valori delle medie sono quasi identici in tutte le 4 zone e le rispettive deviazioni standard differiscono per valori compresi tra 3,54 e 4,80 %.

Valori medi delle micro durezza HV_1 sui 4 provini testati

Provino 1	Provino 2	Provino 3	Provino 4
$247,8 \pm 11,9$	$244,5 \pm 9,3$	$247,2 \pm 10,6$	$244,2 \pm 8,7$

Conclusioni

Alla luce di questi risultati si può affermare che la pressione d'appoggio del martello del tensionatore sulla sella è perfettamente sostenuta dalla microstruttura di quest'ultima, senza provocare fenomeni d'incrudimento.

In fede

Padova, 12 dicembre 2014

Gian Mario Paolucci

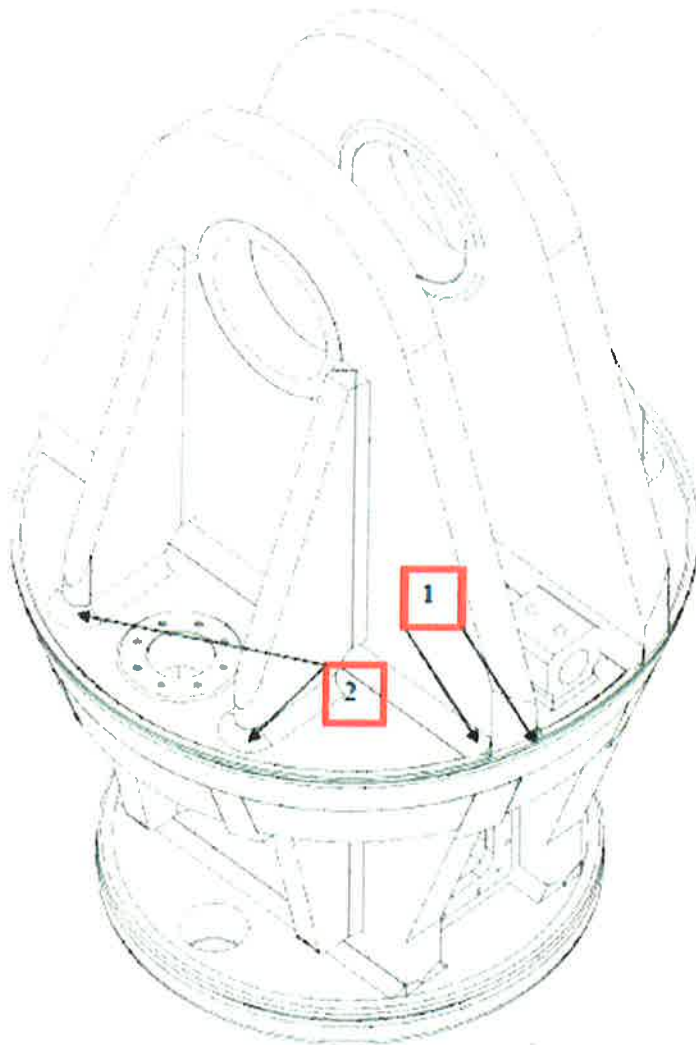


Saldature del maschio più sollecitate

Per quanto riguarda l'elemento maschio, le saldature più sollecitate sono ubicate sul bordo del disco, in corrispondenza dell'innesto del disco superiore sui piatti verticali (saldatura tipo 1) e alla base delle costole trasversali (saldature tipo 2).

Per l'elemento maschio di Treporti si hanno i seguenti stati di sforzo ultimi (sforzi equivalenti di von Mises):

$\sigma_1 \sim 200$ MPa; $\sigma_2 \sim 200-250$ MPa



G.M.P.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE - I C E A
 DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

SFERE	DISTANZA			
	PRE [mm]	POST [mm]	DELTA [mm]	DELTA/2πR
1A-1B	108,478	112,213	3,735	0,00088
2A-2B	96,307	99,281	2,974	0,00079
3A-3B	91,829	93,162	1,333	0,00026
4A-4B	106,257	108,430	2,173	0,00040
5A-5B	98,626	100,646	2,020	0,00039
6A-6B	96,787	96,844	0,057	
7A-7B	584,927	584,677	-0,251	
8A-8B	102,700	102,153	-0,548	
2A-2C	801,079	803,176	2,097	
2B-2C	725,147	725,015	-0,133	
5A-5C	1124,126	1125,258	1,133	
5B-5C	1050,168	1049,868	-0,299	

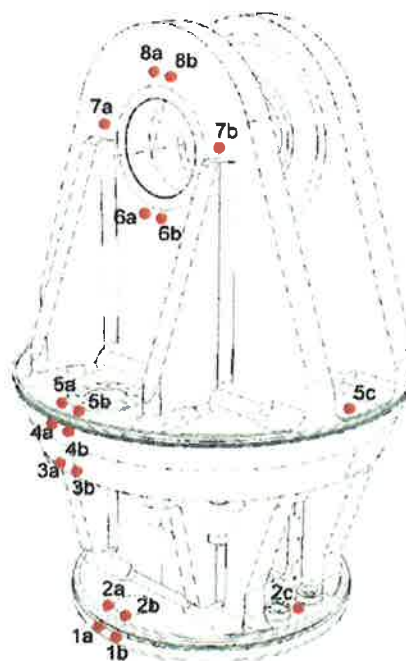


Tabella 9 – Variazione distanza reciproca sfere

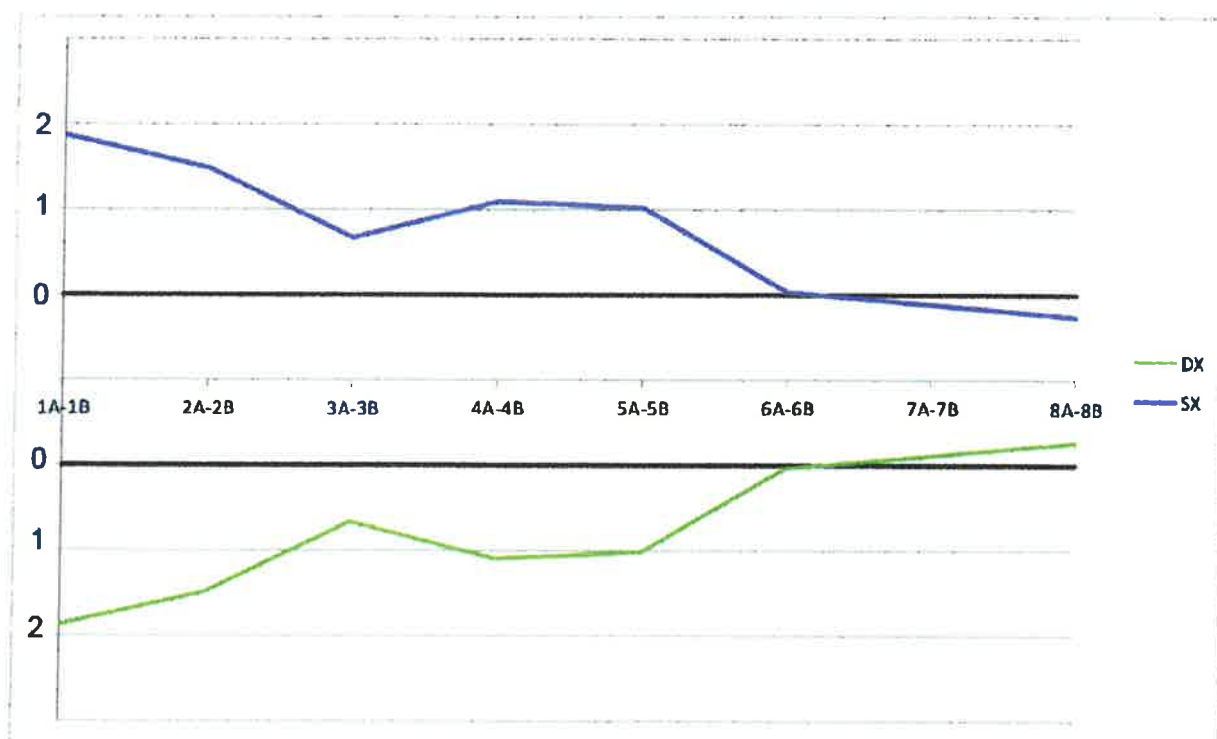


Figura 9 – Andamento distanza reciproca sfere

G.M.P.

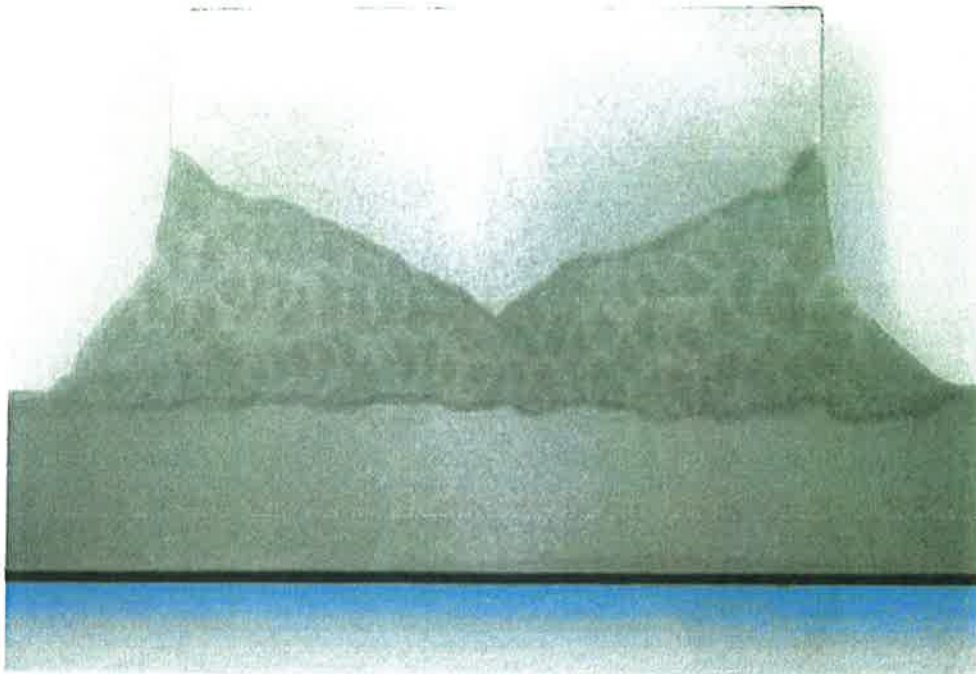
MACROGRAFIE



**Foto
1**

**Attacco
Etching** NITAL 10%

Giunto a croce



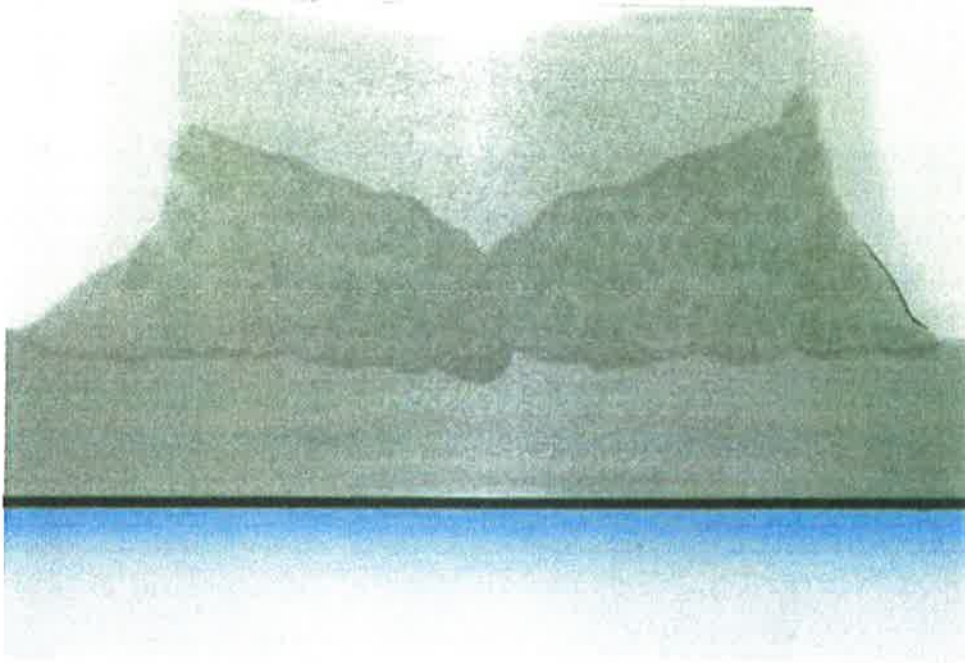
**Foto
2**

**Attacco
Etching** NITAL 10%

Piede di saldatura

G.M.P.

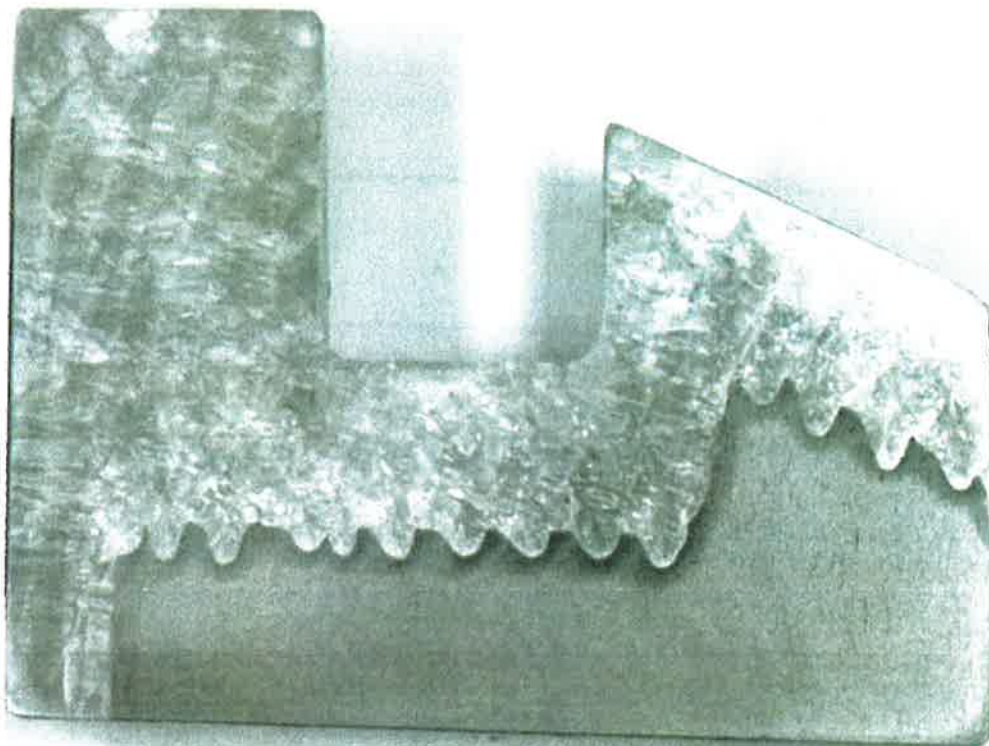
segue **MACROGRAFIE**



**Foto
3**

**Attacco
Etching** NITAL 10%

Piede di saldatura



**Foto
4**

**Attacco
Etching** NITAL 10%

Sezione d'imbrattatura

G.M.P.