

Attività di laboratorio effettuate su tubazioni saldate in acciaio inossidabile relative ad impianto di raffreddamento acqua mare occorso in avaria

Laboratory analysis on welded stainless steel pipelines of a damaged sea-water cooling system

C.Dellabiancia, L.Rolla, V.De Luise, S.Rinoldi, M.Dellabiancia – C.T.S. - Ceparana SP

Su un'imbarcazione di 12 metri, con scafo in lega di alluminio (EN AW 5083) e impianto raffreddamento motori in acciaio inossidabile austenitico tipo AISI 304 alimentato con acqua mare, dopo pochi mesi dalla consegna (durante i quali il mezzo è stato dichiarato praticamente inutilizzato) sono state osservate perdite, prevalentemente localizzate in corrispondenza di giunti saldati. A seguito di tali eventi è stato quindi richiesto l'intervento del laboratorio CTS al fine di indagare la natura dei danni riscontrati, valutare eventuale difettologia relativamente alle giunzioni saldate e indicare possibili soluzioni tecnico-realizzative alla luce delle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche del materiale impiegato. Sono state esaminate due differenti campionature, la prima in AISI 304L come installata a bordo e la seconda in AISI 316L rappresentativa di come il cantiere navale proponeva il ripristino dell'impianto. Nell'articolo si ripercorrono le fasi principali di questa indagine e si presentano le conclusioni raggiunte in merito.

PAROLE CHIAVE: Impianto raffreddamento acqua-mare - Acciai Austenitici - Corrosione localizzata – Processi di saldatura

On a 12 meters boat realized in the Aluminum alloy – EN AW 5083 – equipped with a cooling system of AISI 304 sea water fed, few months after the delivery, during which the usage of the craft was declared as minimum, leakages were detected on the piping, mainly located by welding positions. Due to the recorded losses the CTS laboratory had been involved in order to investigate the failures occurred, analyze any possible defect in the welds and possibly propose any technical-constructive solution in relation with the material chosen and used for the construction of the conduits. Two different sampling have been tested and examined, one of AISI 304L mounted and assembled aboard and one AISI 316L realized as prototype by shipyard as possible repairing of the cooling system. In the article are synthetically described the main investigation phases and the conclusion and damage's evaluation are presented.

KEY WORDS: Sea-water cooling system - Austenitic Stainless Steel – Pitting corrosion – Welding processes

MATERIALE RICEVUTO

In seguito a manifesta avaria relativa ad impianto di raffreddamento acqua mare installato su un'imbarcazione da diporto, verificatasi nel breve periodo successivo alla consegna della costruzione, sono state richieste indagini di laboratorio sulle seguenti campionature:

- Campionatura 1, relativa a tubazione installata:

N 02 spezzoni di tubo saldati testa a testa a relative curve

Camp. [1] : marcatura "campione [01] inox 304" diametro est. 60.3 mm, spessore 1.9 mm.

Camp. [2] : marcatura "campione [02] inox 304" . diametro est. 60.6 mm, spessore 1.9 mm,

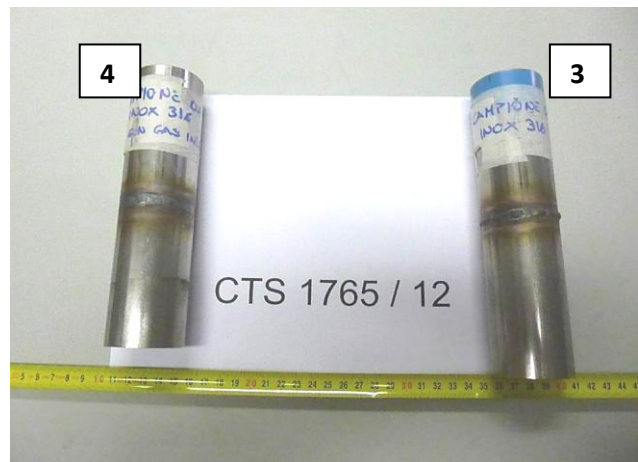
- Campionatura 2, relativa alla proposta di materiale e procedimento di ripristino delle tubazioni lesionate:

N 02 spezzoni di tubo saldati testa a testa

Camp. [3]: marcatura "campione [03] inox 316" diametro est. 48,7 mm, spessore 1.9 mm.

Camp. [4]: marcatura "campione [04] inox 316" con gas inerte", diametro est. 48,6 mm, spessore 1.9 mm,

L'aspetto dei campioni è stato documentato in Figg 1-2.

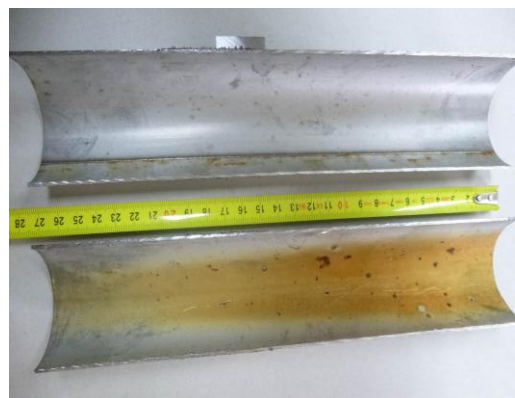


Figg. 1 - 2 Aspetto delle campionature come pervenute – *Samples as received*

CONTROLLI ESEGUITI E RISULTATI RELATIVI

L'esame visivo preliminare e la documentazione macrografica dei componenti saldati ha permesso di valutare lo stato superficiale dei particolari stessi. Relativamente alla prima campionatura sono state osservate abrasioni conseguenti ad un'operazione di smerigliatura, probabilmente utilizzata per rifinire i giunti. Sono risultate evidenti macchie di ruggine colate dai pitting passanti, ed è stata notata una diversa finitura superficiale tra i tratti curvi e quelli rettilinei. L'aspetto superficiale delle curve ricordava quello di acciai sottoposti a decapaggio acido. Nonostante la smerigliatura i cordoni presentavano locali irregolarità. Per quanto riguarda la seconda campionatura su entrambi i particolari comparivano le colorazioni di rinvenimento conseguenti al processo di saldatura, pertanto si esclude che siano stati trattati meccanicamente nè passivati. Mentre nel campione 3 si evidenziava una maglia di saldatura irregolare ed eccesso di sovrametallo, il campione 4, nonostante fosse caratterizzato da una saldatura meno sporgente e più regolare, si riscontrava la presenza di un colpo d'arco nella zona prossima al giunto, tale da costituire comunque discontinuità inaccettabile.

Per investigare dettagliatamente le superfici interne, sono stati sezionati i campioni 1,3 e 4. Relativamente al campione 1 il giunto è risultato caratterizzato da mancanza di penetrazione al vertice, da colorazione caratteristica di un processo di saldatura senza protezione a rovescio e oltretutto privo di successiva passivazione (Fig. 2). E' stato inoltre osservato un diffuso fenomeno di corrosione tipo 'pitting' sia in prossimità della zona termicamente alterata, che in porzioni del tratto rettilineo della tubazione in corrispondenza di una generatrice, probabilmente giacente nella parte inferiore della tubazione. Questa è una posizione preferenziale per il deposito di acqua stagnante e detriti, tali da creare le condizioni per l'innesco di corrosione localizzata (Fig. 3).



Figg. 2 – 3 Aspetto delle superfici interne tubo campione 1 – *Appearance of sample 1 internal surfaces*

Il campione 3, relativo a processo senza protezione a rovescio con gas inerte, oltre alla tipica colorazione dovuta alle elevate temperature raggiunte e alla relativa ossidazione, ha evidenziato ancora grossolani difetti quali mancanze di penetrazione anche in zone adiacenti a locali eccessi di penetrazione (Fig. 4).

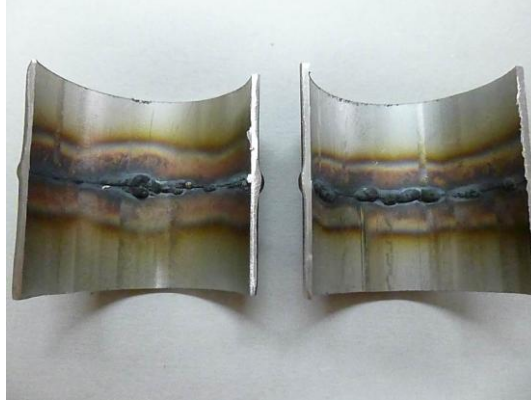


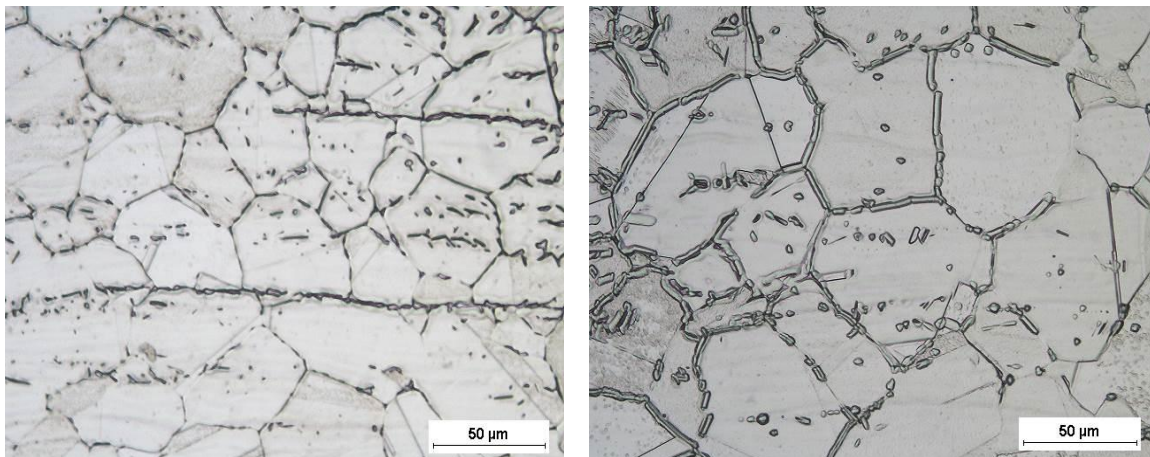
Fig. 4 Aspetto delle superfici interne del tubo campione 3 - *Appearance of sample 3 internal surfaces*

E' stata eseguita analisi chimica mediante Spettroscopia ad Emissione Atomica (AES) sulle due differenti campionature relative al materiale base; nella tabella di seguito si riportano i valori riscontrati.

Campione	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
1	0,0227	0,471	1,66	0,0295	0,0005	18,29	8,65	0,31
2	0,0276	0,438	1,77	0,0274	0,0005	18,13	8,81	0,22
3	0,0170	0,459	1,70	0,0358	0,0019	17,46	10,59	2,10
4	0,0256	0,466	1,64	0,0271	0,0012	17,27	10,34	2,15

In merito si è osserva che le composizioni chimiche rientrano nella categoria degli acciai inossidabili austenitici del tipo 'low carbon' [1], da ritenersi preferibili per i processi di saldatura garantendo una migliore resistenza alla sensibilizzazione e quindi eventuale fenomeno di corrosione intergranulare [2].

Sono stati quindi condotti esami metallografici sui campioni 3 e 4, per valutare lo stato microstrutturale dei particolari. Nel campione 3, relativamente alla sezione indagata, è stata documentata una microcricca in corrispondenza del rovescio della saldatura. In generale in entrambi i campioni micrografici, in corrispondenza della ZTA, è stata documentata una diffusa precipitazione di carburi a bordo grano ("sensibilizzazione"), da considerarsi un grave difetto metallurgico fortemente influenzante la resistenza alla corrosione del particolare saldato (Figg. 5-6), ragionevolmente imputabile a parametri di saldatura inadeguati.



Figg. 5 - 6 Aspetto microstrutturale della ZTA dei campioni 3 (a sinistra) e 4 (a destra) - *Optical micrographic appearance of the HAZ in samples 3 (on the left) and 4 (on the right)*

CONCLUSIONI

In merito ai risultati ottenuti si osserva quanto segue:

- CAMPIONATURA 1

I campioni eserciti sono risultati interessati da fenomeni corrosivi più concentrati e severi presso i giunti, ma comunque presenti anche in altri tratti delle tubazioni stesse. Una diffusa corrosione tipo '*pitting*' è stata osservata vicino alla saldatura longitudinale e lungo una generatrice che verosimilmente corrispondeva alla parte inferiore del tubo, posizione preferenziale per deposito di acqua stagnante e detriti, tali da creare le condizioni per l'innescio di corrosione localizzata o '*vaiolatura*' e in fessura o '*crevice*'.

Ciò conferma quanto noto dalla letteratura tecnica; cioè che l'AISI 304, non rappresenta una valida scelta per l'utilizzo in oggetto [3]. Neppure l'AISI 316 (pur essendo un materiale a volte utilizzato per tubazioni acqua mare) appare una scelta che possa mettere ragionevolmente al sicuro dallo sviluppo di fenomeni corrosivi localizzati, soprattutto in presenza di acque stagnanti marine, come per il caso di imbarcazioni e relativi impianti poco utilizzati o non correttamente mantenuti, così come nel caso di realizzazioni di giunzioni saldate di scarsa qualità.

I giunti saldati in esame prelevati dal circuito acqua mare sono risultati caratterizzati in molti tratti da gravi difetti operativi, come mancanza di penetrazione e/o eccessiva penetrazione.

L'osservazione macrografica ha inoltre permesso di verificare un'evidente alterazione cromatica in corrispondenza delle giunzioni saldate, da attribuirsi a parametri di saldatura non correttamente impostati (i.e. elevato apporto termico) e inefficace protezione del bagno di fusione.

- CAMPIONATURA 2

I tubi saldati di questa campionatura, dichiarati realizzati in acciaio inossidabile austenitico tipo AISI 316 e prodotti mediante procedimento TIG, risultavano anch'essi caratterizzati da svariate difettologie del tutto simili a quelle già descritte per la precedente campionatura.

Gli esami microstrutturali su sezioni trasversali relative ai due giunti hanno permesso inoltre di evidenziare l'effetto di sensibilizzazione del materiale prodotto da una inadeguata regolazione dei parametri di saldatura, tale da indurre la precipitazione di carburi a bordo grano nella ZTA (Zona Termicamente Alterata), riducendo drasticamente le caratteristiche di resistenza alla corrosione.

In definitiva al cantiere sono stati indicati acciai inossidabili e leghe previsti dagli Enti di Classifica per l'utilizzo specifico. Proponendo all'armatore un materiale molto resistente non si potrà essere criticati nel caso di sporadiche avarie per corrosione, soprattutto se il lavoro svolto nell'esecuzione dei giunti e nella realizzazione delle linee sarà esente da difetti significativi.

Da questo punto di vista risulta d'altra parte fondamentale la definizione di procedure di saldature specifiche e opportunamente verificate così come notevole importanza riveste la formazione e la qualifica degli operatori, al fine di garantire un livello di qualità costruttivo adatto all'impiego e al ciclo di vita previsto per il componente.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - ASTM A312 Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes (2017)
- 2 - IIS, Saldatura per Fusione, vol.2 Ed. Hoepli (1996)
- 3 - Steel construction Institute, Applications for Stainless Steel in the Water Industry, IGN 4-25-02 WRc (1999)