

# RESISTENZA ALLA CORROSIONE ATMOSFERICA DI ACCIAI INOSSIDABILI CON DIVERSE FINITURE SUPERFICIALI

T. Bellezze, A.M. Quaranta, G. Roventi, R. Fratesi

*Nel presente lavoro è stata valutata l'influenza della finitura superficiale sulla resistenza alla corrosione localizzata di alcune tipologie di acciaio inossidabile (AISI 304, AISI 316, AISI 430, AISI 443 e AISI 444) con finiture superficiali 2B, BA e "Scotch-Bright" (SB). Lo studio è stato condotto tramite un'esposizione atmosferica in ambiente urbano-marino ed una serie di polarizzazioni anodiche in NaCl 1%, al fine di classificare i diversi acciai inossidabili in base alla resistenza a corrosione localizzata per pitting. Nel caso degli acciai inossidabili austenitici, l'effetto sulla resistenza a corrosione esercitato dalla finitura superficiale si è dimostrato determinante; invece, nel caso degli acciai inossidabili ferritici, tale effetto è risultato secondario rispetto a quello prodotto dal contenuto di cromo e molibdeno. Le prestazioni in atmosfera degli acciai inossidabili ferritici AISI 444 BA e 443 BA sono risultate particolarmente interessanti e del tutto paragonabili a quelle dei più costosi acciai inossidabili austenitici AISI 316 BA e AISI 304 BA, tanto da poterli considerare come loro possibili sostituti. Il confronto tra i risultati ottenuti con i due tipi di prove permette di concludere che il metodo elettrochimico della polarizzazione anodica è una rapida ed efficace alternativa all'esposizione in atmosfera dei campioni studiati, anche se sono necessari ulteriori approfondimenti.*

**PAROLE CHIAVE:** acciaio inox, corrosione, elettrochimica, caratterizzazione dei materiali, selezione dei materiali

## INTRODUZIONE

L'acciaio inossidabile, grazie ad un particolare connubio di caratteristiche meccaniche ed estetiche, è un materiale che si presta in modo ottimale ad una vasta gamma di applicazioni edili e costruttive. In effetti, le peculiarità dell'acciaio inossidabile apprezzate nel settore edile ed architettonico sono molte, a partire dalla sua eccezionale resistenza alla corrosione, anche in ambienti particolarmente aggressivi, fino all'ampia disponibilità di finiture superficiali derivanti dal ciclo tecnologico al quale il materiale viene sottoposto [1].

Nel caso degli acciai inossidabili destinati ad applicazioni che prevedono un'esposizione in atmosfera, le finiture superficiali non hanno solo una valenza estetica, ma, in stretta relazione alla loro rugosità, giocano un ruolo fondamentale nella resistenza a corrosione. Per questa tipologia di materiali, infatti, le finiture superficiali possono influire significativamente sull'efficacia più o meno elevata del sottile strato di ossidi, di cui la superficie degli acciai

inossidabili si ricopre in ambienti sufficientemente ossidanti, determinando così una peculiare autoprotezione nei confronti degli agenti corrosivi [2].

La valutazione degli acciai inossidabili da un punto di vista estetico ha comunque acquisito una notevole importanza, viste le finalità decorative per cui vengono sempre più spesso utilizzati; a questo proposito va evidenziato che anche piccole perdite di peso causate da attacchi corrosivi di lieve entità, come quelli che si possono verificare in ambienti non particolarmente aggressivi, determinano un notevole peggioramento dell'aspetto superficiale dell'acciaio.

Tra i diversi parametri superficiali che concorrono a determinare l'entità della resistenza alla corrosione atmosferica di un acciaio inossidabile, sono considerati determinanti la composizione superficiale, in particolare il contenuto di cromo [3, 4], la presenza di inclusioni di solfuri, la bagnabilità e la rugosità superficiale [5, 6]. Se i numerosi studi condotti sull'argomento hanno stabilito chiaramente che per l'acciaio inossidabile più che per un qualsiasi altro tipo di materiale, la natura della superficie è di fondamentale importanza nel determinare una minore o maggiore resistenza alla corrosione, resta ancora problematico stabilire quale sia l'eventuale trattamento superficiale da eseguire per rendere un particolare tipo di acciaio inossidabile idoneo all'uso in un determinato ambiente corrosivo. Tradizionalmente, per le applicazioni in ambiente urbano vengono usati gli acciai inossidabili AISI 304, mentre per ambienti più aggressivi come quelli marini gli acciai inossidabili di tipo AISI 316

T. Bellezze, A.M. Quaranta, G. Roventi, R. Fratesi

Dipartimento di Fisica e Ingegneria dei Materiali e del Territorio,  
Università Politecnica delle Marche,  
Via Brecce Bianche, 60131 Ancona  
t.bellezze@univpm.it

	AISI 304 A	AISI 316 A	AISI 430 B	AISI 443 C	AISI 444 A
C (%)	0,047	0,019	0,042	0,013	0,022
Cr (%)	18,5	16,5	16,4	21,1	18,0
Ni (%)	9,63	10,63	0,15	0,229	0,15
Mo (%)	0,133	2,01	0,036	0,098	1,97

▲  
Tab. 1

**Composizione chimica degli acciai inossidabili esaminati relativamente agli elementi caratterizzanti. (Le lettere A-C identificano i diversi fornitori dei campioni).**

*Chemical composition of the tested stainless steels in correspondence of their characteristic elements. (Capital letters A-C identify the different sample suppliers).*

[7]. Si tratta in entrambi i casi di acciai inossidabili austenitici che, contenendo nichel, sono soggetti all'instabilità del prezzo di questo elemento. Infatti, il continuo aumento della domanda di nichel da parte del mercato dell'acciaio inossidabile, che da solo consuma il 67% della sua produzione mondiale, causa i vertiginosi aumenti dei prezzi registrati negli ultimi anni da questo metallo [8].

Appare quindi molto importante dal punto di vista economico il poter disporre di acciai inossidabili più economici di quelli di tipo austenitico, ma che assicurino la stessa qualità di prestazione in termini di resistenza alla corrosione atmosferica [4].

In questo lavoro, oltre ai tradizionali acciai austenitici per applicazioni in atmosfera AISI 304 e AISI 316, sono state prese in esame tre tipologie di acciaio inossidabile ferritico (AISI 430, AISI 443 e AISI 444) caratterizzati dalla quasi totale assenza di nichel, con tre diverse finiture superficiali (2B, BA e "Scotch-Brite" SB), al fine di stabilire la loro compatibilità con questo tipo di applicazione. A tale scopo è stata realizzata una prova di esposizione atmosferica, durante la quale i campioni d'acciaio, posti su un opportuno telaio collocato in un ambiente di tipo urbano-marino, venivano sottoposti a periodiche osservazioni per verificare e registrare il diverso avanzamento della corrosione [10]. Inoltre, sono state effettuate delle misure elettrochimiche di tipo potenziodinamico in soluzione di NaCl 1%, mediante registrazione di curve di polarizzazione anodica. I risultati ottenuti in entrambi i tipi di prova sono serviti a classificare i diversi tipi di acciaio inossidabile in base alla resistenza a corrosione conferita loro dalla finitura superficiale. Si è inoltre cercato di verificare la possibilità di utilizzo del più rapido metodo elettrochimico in alternativa a quello dell'esposizione atmosferica.

## PARTE SPERIMENTALE

Sono stati utilizzati tre tipi di lamiera d'acciaio inossidabile ferritico (AISI 430, AISI 443 e AISI 444) e due tipi di lamiera di acciaio austenitico (AISI 304 e AISI 316), con finiture superficiali 2B, BA e "Scotch-Brite" (SB), provenienti da fornitori diversi. La caratterizzazione chimica di tali acciai è stata effettuata mediante analisi spettrofotometrica con uno Spark Analyzer Spectrolab mod. Lavfa A18A (Tab. 1).

L'esposizione in atmosfera è stata eseguita secondo la norma italiana UNI EN ISO 8565, scegliendo come ambiente di esposizione un'atmosfera urbano-marina, caratterizzata da presenza di cloruri e tracce di gas di combustione. Sono stati sottoposti a esposizione atmosferica vari lamierini rettangolari 100 x 150 mm con uno spessore di 2-4 mm, dopo un'iniziale operazione di sgrassaggio con cicloesano. Successivamente allo sgrassaggio, è stata acquisita con uno scanner piano un'immagine digitale della superficie di ciascun campione, da impiegare come riferimento per le immagini acquisite alla fine dell'esposizione. I lamierini sono stati poi fissati su telai d'acciaio zincato inclinati di 45° rispetto al piano di appoggio, avendo l'accortezza di non dare luogo a coppie galvaniche tra

il telaio ed i lamierini (Fig. 1). Per tutta la durata dell'esposizione (162 giorni), sono stati effettuati controlli visivi periodici dei campioni: all'apparire di segni significativi di corrosione, essi venivano prelevati, passati allo scanner e, talora, osservati al macroscopio ed al microscopio ottico, per mettere meglio in evidenza gli attacchi corrosivi localizzati. Infine, i campioni venivano rimontati sui telai nella stessa posizione.

Nel primo periodo di esposizione, per poter evidenziare su quali tipologie di acciaio inossidabile l'attacco corrosivo si manifestava per primo o con più intensità, i controlli sono stati molto frequenti, quasi quotidiani; successivamente, con il progredire della corrosione, le osservazioni sono state rallentate perché le differenze apprezzabili tra un controllo e l'altro erano meno evidenti. Il criterio con cui sono state effettuate le osservazioni dei provini esposti è stato dettato, in generale, dalla necessità di avere una certa continuità nei controlli, ma anche dalle condizioni climatiche, privilegiando i giorni successivi ad episodi piovosi, in particolare a quelli con precipitazioni di acqua mista a sabbia. Si è infatti osservato che, per molti dei provini esposti, una zona piuttosto critica dal punto di vista dell'attacco corrosivo era rappresentata dal bordo inferiore, dove era possibile un certo ristagno d'acqua. Per quanto riguarda la sabbia lasciata sulla superficie dei provini dalle piogge, si è verificato se queste zone di accumulo potessero costituire delle zone



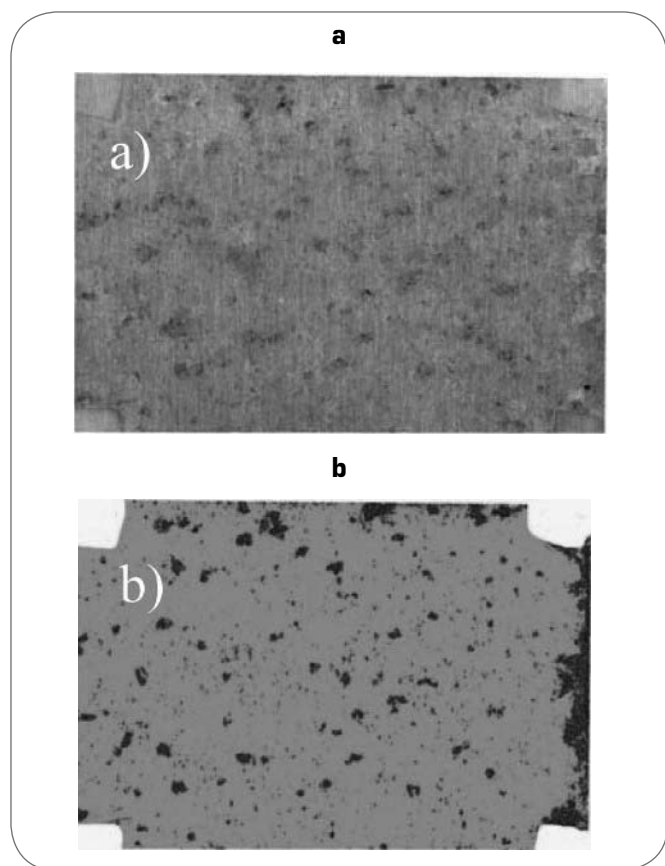
▲  
Fig. 1

**Telai impiegati per l'esposizione atmosferica nel sito ambientale urbano-marino.**

*Frame used for atmospheric exposure in the natural urban-marine environment.*

preferenziali per l'innesco della corrosione.

Alla fine del periodo di esposizione, le immagini dei provini, che avevano subito attacco corrosivo, sono state acquisite con uno scanner piano ed analizzate utilizzando un software, che attraverso un filtro RGB consentiva di ottenere delle "maschere" formate da tre colori (blu, arancione e giallo): con il blu sono stati colorati tutti i pixel che nell'immagine originale del provino corrosivo avevano una componente di rosso ("Red") maggiore delle altre due componenti, verde ("Green") e blu ("Blue"), in modo da prendere in esame come "superficie corrosa del provino" tutta quella caratterizzata da ruggine rossa, individuabile in modo chiaro; con l'arancione sono stati colorati tutti i pixel che non soddisfacevano il criterio precedente e che quindi formavano il "fondo" del provino corrosivo; con il giallo sono stati colorati tutti i pixel corrispondenti alle zone coperte dagli afferraggi di gomma e a quelle rimaste accidentalmente al di fuori della maschera utilizzata per le acquisizioni con lo scanner. In Fig. 2 vengono mostrate rispettivamente l'immagine di un campione così come veniva acquisita dallo scanner e quella elaborata secondo il filtro RGB, descritto sopra; a questo punto, dopo aver escluso i pixel colorati di giallo, il software permetteva di calcolare la percentuale di pixel blu dell'immagine-maschera elaborata e



▲  
Fig. 2

**Campione di AISI 430 SB dopo 162 giorni di esposizione: foto iniziale (a) e dopo elaborazione con il filtro RGB (b). Nel telaio di esposizione, il provino era posto in direzione verticale, visualizzabile ruotando l'immagine (a) di 90° in senso orario.**

*AISI 430 SB sample after 162 days of exposure: original picture (a) and picture (b) after image analysis performed with a RGB filter. In the exposure frame, the sample was placed in vertical direction, visualizable after rotating the picture (a) 90° clockwise.*

quindi la percentuale di ruggine rossa presente sulla superficie del campione. Per ogni tipologia di acciaio esaminata, i risultati della percentuale di ruggine rossa sono stati riportati in un diagramma, dopo essere stati calcolati come media dei valori ottenuti dai campioni dello stesso materiale e con la stessa finitura superficiale.

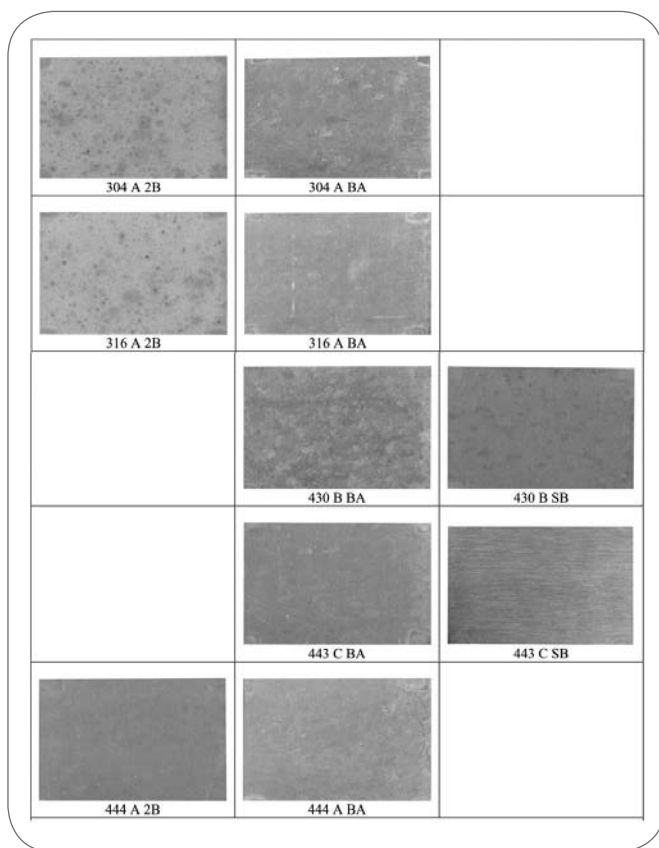
Lo studio della resistenza a corrosione localizzata degli acciai inossidabili in oggetto è stato effettuato anche tramite la registrazione e l'analisi di curve potenziodinamiche cicliche di polarizzazione anodica. Questa tecnica elettrochimica permette di ricavare alcune grandezze che danno informazioni sul comportamento a corrosione del materiale in un dato ambiente, in particolare il potenziale di libera corrosione ( $E_{corr}$ ), il potenziale di pitting ( $E_{pit}$ ), il potenziale di protezione ( $E_{prot}$ ) o anche noto come "potenziale di ripassivazione" [11].

Per eseguire la polarizzazione anodica dei vari lamierini di acciaio inossidabile, è stata usata una cella elettrochimica a tre elettrodi con un elettrodo di riferimento a calomelano saturo (SCE) ed un controlettrodo di platino, immersi in una soluzione al 1% in peso di NaCl, a temperatura ambiente. Il campione di acciaio inossidabile, che costituiva l'elettrodo di lavoro della cella elettrochimica, veniva dapprima sgrassato con acetone, quindi incollato con una resina epossidica bicomponente ad un cilindro di plexiglas alto circa 10 cm e con un'area di base interna di 12,6 cm<sup>2</sup> delimitante la parte del provino interessata dalla polarizzazione anodica. Per l'ottenimento delle curve, veniva impiegato un potenziostato EG&G Princeton Applied Research mod. 273, a sua volta interfacciato con un PC che, tramite apposito software, permetteva la registrazione dei dati, il comando d'inversione della scansione potenziodinamica, l'impostazione del valore di soglia della densità di corrente ed il valore della superficie del metallo esposto, nonché la visualizzazione delle curve anodiche  $E$  vs  $\log i$ .

Dopo una preliminare stabilizzazione del potenziale di libera corrosione, la polarizzazione potenziodinamica anodica veniva avviata a partire da un valore di -50 mV rispetto al potenziale di libera corrosione con velocità di scansione di 0,166 mV/s, fino al raggiungimento del valore di densità di corrente anodica di 0,01 mA/cm<sup>2</sup>; superata questa soglia, la scansione veniva invertita fino a tornare al potenziale di circuito aperto [12]. Al termine della polarizzazione, la superficie del campione veniva attentamente osservata, sia a occhio nudo che al macroscopio, per escludere la presenza di attacchi localizzati in corrispondenza di eventuali interstizi formati all'interfaccia superficiale del provino-resina epossidica (corrosione per "crevice"). Per ognuna delle tipologie di acciaio inossidabile considerato in questa sperimentazione, sono state effettuate diverse prove di polarizzazione anodica e alla fine sono stati calcolati i valori medi dei potenziali di libera corrosione ( $E_{corr}$ ), di pitting ( $E_{pit}$ ) e di protezione ( $E_{prot}$ ), escludendo i casi in cui si accertava la presenza di crevice.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

Già dopo le prime 24 ore di esposizione in atmosfera urbano-marina, su alcuni dei campioni sono apparsi visibili segni di corrosione localizzata per pitting, molto probabilmente a causa della presenza di difetti superficiali preesistenti. A 10 giorni dall'inizio dell'esposizione, i primi a manifestare una presenza significativa di zone corrosive sono stati i campioni di AISI 430 SB; la particolare suscettibilità di questo materiale alla corrosione localizzata è stata confermata dal controllo a 64 giorni di esposizione, quando sono risultati attaccati anche i campioni di AISI 430 con finitura BA. Dopo 120 giorni di esposizione, oltre a un peggioramento, seppur contenuto, dello stato superficiale dei campioni di AISI 430, si sono registrati i primi segni di corrosione su tutti i campioni con finitura 2B, in particolare su quelli di AISI 304. Alla fine della sperimentazione (162 giorni),

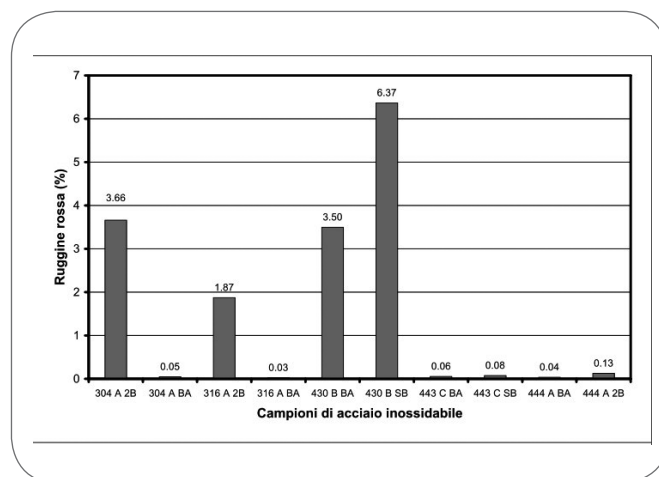
▲  
Fig. 3

**Immagini ottenute con lo scanner piano per ogni tipo di acciaio inossidabile disponibile a 162 giorni dall'inizio dell'esposizione atmosferica. Nel telaio di esposizione, ogni provino era posto in direzione verticale, visualizzabile ruotando ciascuna immagine di 90° in senso orario.**

*Pictures obtained with a common digital scanner for each stainless steel studied, after 162 days from the starting of atmospheric exposure. In the exposure frame, the sample was placed in vertical direction, visualizable after rotating the picture (a) 90° clockwise.*

L'analisi visiva ha rivelato un peggioramento dello stato superficiale di quasi tutti i provini in esposizione, compresi quelli che fino a quel momento non avevano presentato segni di corrosione (Fig. 3); questo repentino aumento dall'attacco corrosivo potrebbe essere correlato al cambiamento climatico che si è avuto verso la fine del periodo di esposizione, caratterizzato da un deciso aumento delle precipitazioni e dell'umidità relativa. Gli acciai inossidabili AISI 430, sia con finitura SB che BA, hanno manifestato la minore resistenza alla corrosione atmosferica tra gli acciai inossidabili testati, dimostrando di non essere assolutamente adatti per usi all'esterno in ambienti urbano-marini.

Considerando più in dettaglio i campioni con finitura 2B, si può affermare che essi hanno presentato tutti una superficie attaccata da corrosione, in particolar modo l'AISI 304 e l'AISI 316 (Fig. 3); l'AISI 444 2B sembra aver avuto una maggiore resistenza a corrosione, ma non abbastanza da poter essere indicato per un utilizzo in ambienti esterni del tipo preso in considerazione nel corso di questa sperimentazione. Riguardo alla finitura Scotch-Brite, i campioni di AISI 443 hanno subito un attacco corrosivo molto inferiore rispetto a quello subito dai campioni di acciaio AISI 430, ma anche

▲  
Fig. 4

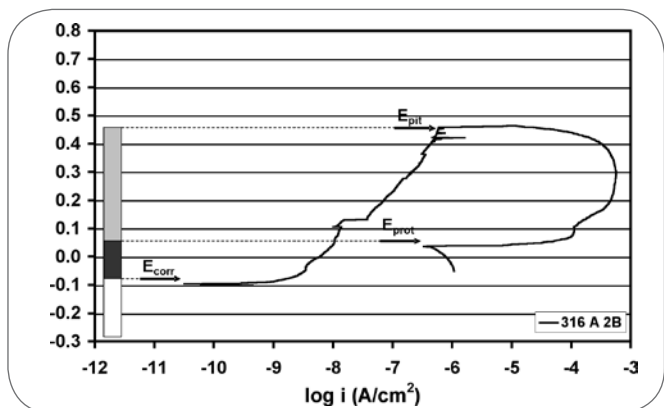
**Istogramma riassuntivo della percentuale di ruggine rossa presente sulla superficie dei campioni di acciaio inossidabile esposti in atmosfera, calcolata con il software al termine del periodo di esposizione (162 giorni).**  
*Synthetic histogram of the red rust percentage present on the samples surface of stainless steels exposed in atmosphere and calculated with the digital analysis at the end of exposure (162 days).*

in questo caso, benché si tratti di una finitura molto apprezzata per il suo particolare effetto estetico, i risultati ottenuti non sono tali da poterla consigliare in ambienti esterni urbano-marini.

La finitura superficiale che ha dato i risultati migliori in queste condizioni ambientali è la BA (Fig. 3): se si esclude l'AISI 430, tutti gli altri tipi di acciaio inossidabile, in particolar modo il 316 BA, hanno presentato una superficie pressoché priva di attacco corrosivo. Prestazioni del tutto paragonabili a quest'ultimo tipo di acciaio sono state fornite anche dall'acciaio ferritico AISI 444 BA come illustrato dalle foto di Fig. 3.

Questi risultati confermano che la finitura superficiale è determinante nei diversi comportamenti di resistenza alla corrosione atmosferica degli acciai inossidabili sottoposti alle prove di esposizione.

Le percentuali di ruggine rossa, ottenute alla fine del periodo di esposizione atmosferica (162 giorni) dalle elaborazioni digitali delle immagini dei campioni acquisite con lo scanner, sono riportate nell'istogramma di Fig. 4. Tale istogramma conferma in modo quantitativo le osservazioni visive ottenute con l'analisi della Fig. 3: l'acciaio inossidabile AISI 430 mostra il peggior comportamento a corrosione sia con la finitura SB che con quella BA, anche se per quest'ultima si è ottenuta una percentuale di superficie con ruggine rossa un po' più bassa, come del resto ci si attendeva; nel caso invece degli acciai austenitici AISI 304 e AISI 316 la finitura sembra influenzare in modo molto significativo il comportamento a corrosione dell'acciaio, visto che in entrambi i casi si sono registrati valori di danneggiamento superficiale alti per i campioni con finitura 2B contro un danneggiamento quasi inesistente per i campioni con finitura BA; per l'acciaio ferritico AISI 443 le finiture BA e SB non influenzano apprezzabilmente la resistenza a corrosione, infatti i valori percentuali di ruggine rossa ottenuti sono praticamente simili e molto bassi; infine, l'acciaio ferritico AISI 444 mostra un comportamento a corrosione leggermente peggiore con la finitura 2B rispetto a quella BA con i relativi campioni che rimangono praticamente inalterati alla fine dell'esposizione.



▲  
Fig. 5

Curva di polarizzazione anodica per un campione di AISI 316 2B (a destra). A sinistra è riportata una colonna di un istogramma corrispondente allo stesso campione in cui si possono distinguere la zona di passività perfetta (grigio scuro) e la zona di passività imperfetta (grigio chiaro).

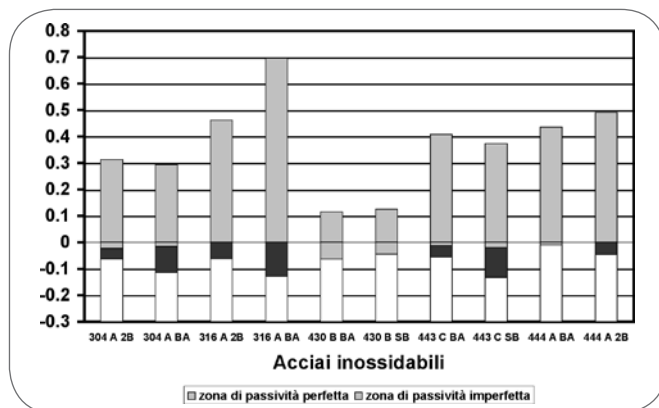
Anodic polarization curve for AISI 316 2B sample (on the right). On the left, a histogram column is shown, corresponding to the same sample where the perfect passivity zone (dark grey) and the imperfect passivity zone (light grey) are shown.

In Fig. 5 è mostrata una curva di polarizzazione anodica ottenuta per un campione di AISI 316 2B in soluzione di NaCl 1%, con indicati i potenziali di corrosione ( $E_{corr}$ ), di pitting ( $E_{pit}$ ) e quello di protezione o ripassivazione ( $E_{prot}$ ). Da questi tre valori di potenziale è possibile individuare: la zona di passività perfetta (zona grigio scuro in Fig. 5), tra  $E_{corr}$  ed  $E_{prot}$  (anche se teoricamente  $E_{corr}$  non è precisamente il limite inferiore di questa zona), dove un pit non si propaga anche se, per esempio, è stato innescato in seguito ad un danneggiamento meccanico della superficie del campione; la zona di passività imperfetta (zona grigio chiaro in Fig. 5), tra  $E_{prot}$  ed  $E_{pit}$  dove un pit innescato potrebbe propagarsi.

Con i valori dei potenziali specificati sopra si può ottenere l'istogramma di Fig. 6 con tante colonne, come quella mostrata in Fig. 5, quante sono le combinazioni acciaio-finitura superficiale studiate in questa sperimentazione.

Le prove elettrochimiche hanno dato dei risultati in soddisfacente accordo con quelli ottenuti con l'esposizione in atmosfera (confrontare Fig. 4 e Fig. 6): ad un basso potenziale di pitting corrisponde una bassa resistenza a corrosione localizzata, mentre ad un più basso valore del potenziale di protezione, con una zona di passività perfetta (grigio scuro) meno ampia o addirittura inesistente, corrisponde una minore capacità di ripassivazione da parte del materiale; da ciò segue che i materiali che presentano queste caratteristiche devono dare, negli ambienti naturali ricchi di cloruri, una maggiore quantità di ruggine rossa, perché più suscettibili a corrosione localizzata e meno capaci di ripassivarsi.

Confrontando la Fig. 4 e la Fig. 6, si può notare che questa corrispondenza è riscontrabile nel caso dell'AISI 430, per il quale è stata osservata un'elevata corrosione sia con la finitura BA che SB: alla elevata percentuale di area interessata dalla ruggine rossa corrispondono bassi valori del potenziale di pitting ed assenza della possibilità di ripassivazione. La buona resistenza dell'acciaio AISI 316 BA è confermata sia da un elevato valore di  $E_{pit}$  che da una buona capacità di ripassivazione. Alti valori del potenziale di pitting sono stati rilevati, indipendentemente dalla finitura superficiale,



▲  
Fig. 6

Istogramma riepilogativo dei potenziali medi di libera corrosione, di pitting e di ripassivazione relativi agli acciai inossidabili studiati ed illustrati secondo la zona di passività perfetta ed imperfetta.

Synthesis histogram of average free corrosion potentials, pitting and protection potentials, relative to the tested stainless steels, according to the representation of perfect and imperfect passivity zones.

sia per l'AISI 443 che per l'AISI 444 in accordo con la bassa percentuale di ruggine rossa riscontrata. L'eccezione è rappresentata dall'AISI 444 BA per il quale la polarizzazione anodica indica scarse capacità di ripassivazione (Fig. 6), mentre la sua superficie è stata interessata solo dallo 0,04% di ruggine rossa (Fig. 4). Infine, altre eccezioni sono state evidenziate per i campioni di AISI 304 BA che presentano valori di potenziale di pitting simili a quelli dell'AISI 304 2B, mentre nel test di esposizione in atmosfera i campioni con finitura BA hanno riportato un attacco corrosivo molto più contenuto rispetto a quello dei campioni con finitura 2B; anche i provini di AISI 316 2B hanno fornito un potenziale di pitting assai più elevato di quello che si sarebbe atteso in base al comportamento mostrato in atmosfera.

Sebbene i risultati delle prove di esposizione atmosferica ed i risultati delle prove elettrochimiche forniscono indicazioni simili, è necessaria un'ulteriore sperimentazione al fine di verificare l'esistenza di un maggiore margine di accordo. Ciò consentirebbe di effettuare una selezione più rapida degli acciai inossidabili con la relativa finitura da utilizzare in atmosfera, eseguendo le prove elettrochimiche al posto delle più lunghe prove di esposizione atmosferica.

Prendendo in esame i risultati ottenuti in questa sperimentazione e tenendo in considerazione il tenore degli elementi trovati in ciascun acciaio inossidabile studiato (Tab. 1), si conclude che il maggior attacco corrosivo, riscontrato nell'acciaio AISI 430, è in accordo con il fatto che questo materiale è quello a minor contenuto di cromo.

Dall'altro lato, il 21% di cromo presente nell'acciaio ferritico AISI 443 garantisce un'ottima resistenza a corrosione atmosferica, maggiore addirittura di quella del più costoso acciaio austenitico AISI 304, di cui potrebbe costituire una valida alternativa.

Anche la presenza di livelli paragonabili di cromo e molibdeno nell'acciaio ferritico AISI 444 e nell'acciaio austenitico AISI 316 permettono di considerare il primo un'alternativa al secondo in molte applicazioni in cui è prevista un'esposizione atmosferica. La conferma di questa possibilità è data in particolare dai risultati ottenuti con l'esposizione atmosferica (Fig. 4) più che da quelli ottenuti con le prove elettrochimiche dato l'elevato valore di  $E_{pit}$  dell'AISI 316 BA.

In conclusione, la finitura superficiale sembra aver determinato un

effetto significativo nei due acciai austenitici AISI 304 e AISI 316 mentre per gli altri acciai non sono state rilevate differenze molto elevate.

## CONCLUSIONI

È stata studiata la resistenza a corrosione atmosferica di due tipi di acciaio inossidabile austenitico (AISI 304, AISI 316) e di tre tipi di acciaio inossidabile ferritico (AISI 430, AISI 443 e AISI 444) con diverse finiture superficiali (2B, BA e "Scotch-Brite" SB) e con diversa composizione chimica. Sono state eseguite sia prove di esposizione atmosferica in ambiente urbano-marino che prove elettrochimiche di polarizzazione anodica in una soluzione di NaCl al 1%.

Tra gli acciai inossidabili testati, i campioni di acciaio ferritico AISI 430 hanno mostrato la peggiore resistenza a corrosione atmosferica, indipendentemente dalla finitura superficiale (SB o BA), dimostrando di non essere assolutamente idonei per usi all'esterno in ambienti urbano-marini. Risultati decisamente migliori sono stati invece ottenuti, indipendentemente dalla finitura superficiale, per l'acciaio ferritico AISI 443 (a più alto contenuto di cromo) e per l'acciaio ferritico AISI 444 (con percentuali di cromo e molibdeno paragonabili all'AISI 316). Le prestazioni di questi acciai, in termini di resistenza a corrosione, sono risultate del tutto paragonabili a quelle fornite dagli acciai austenitici AISI 304 BA e AISI 316 BA e quindi potrebbero essere presi in considerazione per essere utilizzati al posto di questi ultimi (più costosi per la presenza di nichel) in applicazioni che prevedono un'esposizione atmosferica. Inoltre, per gli acciai inossidabili ferritici testati, più che la finitura superficiale da essi posseduta, è risultata importante la loro composizione chimica (contenuto di cromo e molibdeno).

L'influenza della finitura superficiale sembra essere invece particolarmente significativa nel caso degli acciai austenitici studiati, per i quali i campioni di tipo 2B sono risultati decisamente più attaccati in atmosfera urbano-marina rispetto ai campioni di tipo BA.

Questo risultato non è stato confermato dai risultati ottenuti con

le prove di polarizzazione anodica, perché esse hanno fornito delle indicazioni sui potenziali di pitting dei campioni di acciaio austenitico con finitura 2B, non significativamente più bassi di quelli corrispondenti agli analoghi campioni con finitura BA. Nel caso invece degli acciai ferritici si è riscontrato un maggiore accordo tra i risultati ottenuti dalle prove di esposizione ed i risultati ottenuti dalle prove elettrochimiche di polarizzazione anodica.

Il confronto tra i risultati ottenuti con i due tipi di prove permette di concludere che il metodo elettrochimico della polarizzazione anodica è una rapida ed efficace alternativa all'esposizione in atmosfera dei campioni studiati, anche se sono necessari ulteriori approfondimenti.

## BIBLIOGRAFIA

- 1] The mechanical finishing of decorative stainless steel surfaces (Materials and Applications Series), volume 6, Euro Inox (2005).
- 2] G. DI CAPRIO, Gli Acciai Inossidabili, Hoepli (2003).
- 3] G.HULTQUIST, C.LEYGRAF, Corros. 36 (1980) p.126.
- 4] K.ASAMI, K.HASHIMOTO, Corros.Sci. 45 (2003) p.2263
- 5] T.HONG, M. NAGUMO, Corros.Sci. 39 (1997) p.1665.
- 6] L.R.HILBERT, D.BAGGE-RAVN, J.KOLD, L.GRAM, Inter. Biodeter. & Biodegrad. 52 (2003) p.175.
- 7] I.O.WALLINDER, J.LU, S.BERTLING, C.LEYGRAF, Corros.Sci. 44 (2002) p.2303.
- 8] H.R. WATLING, Hydrometallurgy, 91 (2008) p.70.
- 9] USGS Minerals Information, Nickel statistics and information. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/>
- 10] C. LEYGRAF, T. E. GRAEDEL, Atmospheric Corrosion, John Wiley and Sons, New York (2000), p.55.
- 11] B.E. WILDE, Localized Corrosion, in: R.W. Staehle, B.F. Brown, J. Kruger, A. Agarwal (Eds.), Houston, TX, NACE (1974) p. 342.
- 12] ASTM G61-86(2003) e1 - Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys.

## ABSTRACT

### ATMOSPHERIC CORROSION RESISTANCE OF STAINLESS STEELS WITH DIFFERENT SURFACE FINISHING

**Keywords:** stainless steel, corrosion, electrochemistry, materials characterization, materials selection

Thank to its mechanical and aesthetical characteristics, stainless steel is an interesting material suitable for large scale applications in the different building fields. Actually, there are many peculiarities of stainless steel, appreciated in construction and architectural sectors, starting from its extraordinary corrosion resistance, even in particularly aggressive environments, up to large availability of surface finishing obtained after submitting it to different technological cycles.

In the present work, the effect produced by the surface finishing on the localized corrosion resistance of some stainless steels (AISI 304, AISI 316, AISI 430, AISI 443 and AISI 444) with 2B, BA and SB ("Scotch Bright") finishing was investigated. The study was performed by means of atmospheric exposure according to UNI EN ISO 8565 Italian regulation, using an urban-marine atmosphere as exposure environment, characterized by the presence of chlorides and traces of combustion gases. The atmospheric corrosion was expressed as percentage of "surface damage" due to red rust as a function of time and determined by using a suitable RGB filter on corroded sample pictures. Furthermore, a series of anodic potentiodynamic polarizations were performed (scan rate 0.166 mV/s) in a NaCl solution, 1% by weight; such polarizations have been started from -50 mV with respect to free corrosion potential up to the achievement of the current density threshold equal to 0.01 mA/cm<sup>2</sup>, where the scan has been reversed up to the corrosion potential. In this way,

in addition to the corrosion potential, the pitting and the protection potential were obtained, with which a ranking among stainless steels, together with their finishing, was made possible.

Among the tested materials, the samples of ferritic steel AISI 430 showed the worst atmospheric corrosion resistance, independently from their surface finishing (SB or BA), indicating that they can not absolutely used for external urban-marine environments. With particular reference to BA finishing, better results were definitely obtained for AISI 443 ferritic steel (with the highest chromium content) and for AISI 444 ferritic steel (with percentages of chromium and molybdenum comparable to those of AISI 316 austenitic steel). The performances of these alloys, in terms of localized corrosion resistance, resulted completely comparable with those of austenitic stainless steel AISI 304 BA and AISI 316 BA and therefore these ferritic stainless steels can be considered for their use in place of these last ones (more expensive for the presence of nickel) in those applications where there is atmospheric exposure. Furthermore, for the tested ferritic stainless steels, the chemical composition (content of chromium and molybdenum) was more important than their surface finishing.

Instead, the effect produced by surface finishing was particularly significant in the case of austenitic stainless steels, whose specimens with 2B finishing were more attacked with respect to specimens with BA finishing in the urban-marine atmosphere. The comparison between the two types of tests allows the conclusion that the electrochemical technique of anodic polarization is a fast and effective alternative to atmospheric exposure of the tested specimens, even if further studies are necessary. This is due to a certain disagreement between some results obtained with these experimental methods.