

## L'acciaio inox a contatto con altri materiali metallici



## Euro Inox

Euro Inox è l'associazione europea per lo sviluppo del mercato dell'acciaio inossidabile. I soci di Euro Inox comprendono:

- Produttori europei di acciaio inossidabile
- Associazioni nazionali per lo sviluppo dell'acciaio inossidabile
- Associazioni per lo sviluppo dell'industria degli elementi di lega

Gli obiettivi primari di Euro Inox sono creare una sensibilità nei confronti delle proprietà uniche degli acciai inossidabili e promuoverne l'impiego sia per le applicazioni correnti che in nuovi mercati. Per raggiungere tali obiettivi, Euro Inox organizza convegni e seminari, pubblica guide sia in forma cartacea che elettronica per rendere più familiari con questi materiali architetti, progettisti, tecnici, costruttori ed utilizzatori finali. Euro Inox sostiene inoltre la ricerca tecnica e commerciale.

ISBN 978-2-87997-329-6

|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 978-2-87997-263-3 | Versione inglese    |
| 978-2-87997-322-7 | Versione olandese   |
| 978-2-87997-323-4 | Versione francese   |
| 978-2-87997-324-1 | Versione ceca       |
| 978-2-87997-325-8 | Versione finlandese |
| 978-2-87997-326-5 | Versione svedese    |
| 978-2-87997-327-2 | Versione turca      |
| 978-2-87997-328-9 | Versione polacca    |
| 978-2-87997-330-2 | Versione spagnola   |

### Membri regolari

#### Acerinox

[www.acerinox.com](http://www.acerinox.com)

#### Aperam

[www.aperam.com](http://www.aperam.com)

#### Outokumpu

[www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)

#### ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

[www.acciaiterni.com](http://www.acciaiterni.com)

#### ThyssenKrupp Nirosta

[www.nirosta.de](http://www.nirosta.de)

### Membri associati

#### Acroni

[www.acroni.si](http://www.acroni.si)

#### British Stainless Steel Association (BSSA)

[www.bssa.org.uk](http://www.bssa.org.uk)

#### Cedinox

[www.cedinox.es](http://www.cedinox.es)

#### Centro Inox

[www.centroinox.it](http://www.centroinox.it)

#### Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

[www.edelstahl-rostfrei.de](http://www.edelstahl-rostfrei.de)

#### International Chromium Development Association (ICDA)

[www.icdachromium.com](http://www.icdachromium.com)

#### International Molybdenum Association (IMOA)

[www.imoa.info](http://www.imoa.info)

#### Nickel Institute

[www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

#### Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

[www.turkpasder.com](http://www.turkpasder.com)

#### Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

[www.puds.pl](http://www.puds.pl)

#### SWISS INOX

[www.swissinox.ch](http://www.swissinox.ch)

L'acciaio inox a contatto con altri materiali metallici  
Serie Materiali e Applicazioni, Volume 10  
© Euro Inox 2011

Tradotto e adattato da ARLT, N. / BURKERT, A. /  
ISECKE, B., *Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen  
Werkstoffen (Merkblatt 829)*, Düsseldorf, Informations-  
stelle Edelstahl Rostfrei, 4ª edizione 2005

#### **Editore**

Euro Inox  
Diamant Building, Bd. Aug. Reyers 80,  
1030 Bruxelles, Belgio  
Telefono +32 2 706 82 67 Fax +32 2 706 82 69

#### **Riconoscimenti fotografici:**

Atomium asbl / vzw, Bruxelles (B)  
Centro Inox, Milano (I)  
Bundesanstalt für Materialprüfung und forschung,  
Berlin (D)  
David Cochrane, Sidcup (UK)  
Benoît Van Hecke, Hasselt (B)  
Outokumpu, Tornio (FIN)  
Thomas Pauly, Brussels (B)  
Christoph Seeberger, Monaco (D)  
ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld (D)  
Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden (D)  
Viega GmbH & Co. KG, Attendorn (D)

## **Indice**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Introduzione                                       | 2  |
| 2   | I principi della corrosione galvanica              | 3  |
| 3   | Fattori rilevanti ed esempi                        | 5  |
| 3.1 | Resistenza dell'elettrolita                        | 5  |
| 3.2 | Permanenza in fase umida ed ambienti               | 6  |
| 3.3 | La cinetica delle reazioni agli elettrodi          | 8  |
| 3.4 | Il rapporto tra area catodica ed anodica           | 8  |
| 4   | Esperienze pratiche in varie applicazioni          | 10 |
| 4.1 | Trattamento acque e reflui                         | 11 |
| 4.2 | Componenti esposti ad agenti atmosferici           | 14 |
| 4.3 | L'acciaio inox negli edifici e nelle costruzioni   | 15 |
| 4.4 | L'acciaio inox nelle applicazioni per il trasporto | 18 |
| 5   | Prevenzione della corrosione galvanica             | 22 |
| 6   | Bibliografia                                       | 23 |

#### **Clausola di esonero**

Euro Inox ha fatto ogni sforzo per assicurare che le informazioni presentate in questo documento siano tecnicamente corrette. Il lettore è avvisato tuttavia che la documentazione ivi contenuta è unicamente a scopo di informazione generale. Euro Inox e i suoi membri, declinano specificatamente qualsiasi imputabilità o responsabilità per perdite, danni o lesioni che dovessero derivare dalla applicazione delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

#### **Nota sui diritti d'autore**

Quest'opera è soggetta ai diritti d'autore. Euro Inox si riserva: tutti i diritti di traduzione in ogni linguaggio, ristampe successive, riutilizzo delle illustrazioni, interpretazione e trasmissione. Nessuna parte di questa pubblicazione può venire riprodotta, memorizzata o trasmessa in ogni forma, elettronica, meccanica, fotostatica o altro, senza il preventivo consenso scritto da parte del detentore dei diritti d'autore: Euro Inox, Lussemburgo. Le violazioni potranno venir perseguite per vie legali, comprendendo sia il danno economico che il rimborso delle spese legali, ai sensi della legge sui diritti d'autore del Lussemburgo e delle normative comunitarie.

## 1 Introduzione

Complessi requisiti progettuali possono rendere necessaria l'unione di differenti materiali metallici nell'ambito dello stesso componente. Si possono spesso anche trovare combinazioni d'opportunità, dettate solo dalla disponibilità, ad esempio, di fissaggi o inserti. In certe circostanze, tali soluzioni con materiali misti possono portare a corrosione in uno dei materiali accoppiati. Questo fenomeno comprende la corrosione galvanica<sup>1</sup>, in cui due diversi metalli formano un accoppiamento galvanico.

Come risultato della formazione degli elementi galvanici, vi può essere, nel materiale meno nobile, corrosione accelerata. Quest'ultimo può quindi subire una velocità di corrosione di gran lunga superiore a quanto ci si aspetterebbe in assenza di alcun accoppiamento col metallo più nobile. I danni da corrosione quali: deterioramento inaccettabile dell'aspetto, perdite in tubi o cedimento di rivetti possono ridurre drasticamente la vita utile di un componente e

portare a sostituzione prematura. In gran parte delle applicazioni tecniche l'inossidabile ha il potenziale di corrosione più elevato dei metalli a contatto perciò vi è di solito pericolo di corrosione per il materiale accoppiato.

Il rischio che vi sia corrosione galvanica dipende comunque da una moltitudine di fattori. Oltre ai materiali impiegati, l'ambiente e la progettazione sono cruciali. E' pertanto difficile dare un giudizio a priori sulla compatibilità dei materiali. La presente pubblicazione descrive i principi della corrosione galvanica e i principali parametri che permettono ai progettisti di valutare i rischi di corrosione.

<sup>1</sup>Corrosione accelerata di un metallo, dovuta all'effetto di un elemento corrosivo. Altri fattori comprendono concentrazione, aerazione e attività/passività dell'elemento.

## 2 I principi della corrosione galvanica

Perché la corrosione galvanica avvenga, occorre vi siano:

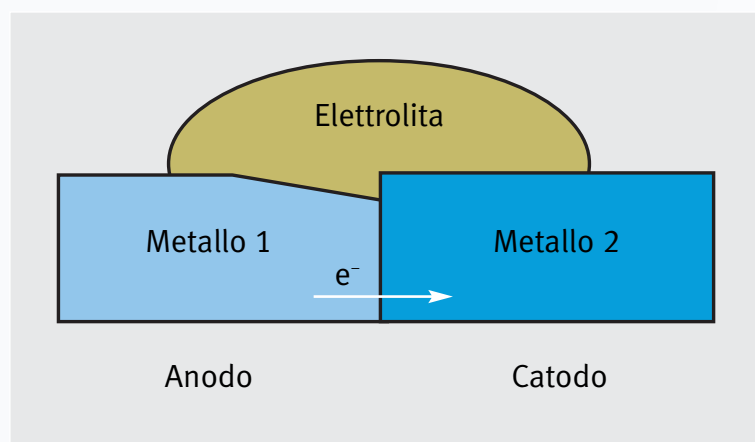
- differenti potenziali di corrosione dei metalli all'interno di un dato sistema
- una connessione conduttiva tra i due metalli
- un film umido elettricamente conduttivo (elettrolita) che colleghi entrambi i metalli

La *Figura 1* mostra i tre prerequisiti in forma grafica.

Allorquando vi è corrosione galvanica, il materiale meno nobile – l'anodo, – viene attaccato in maniera preferenziale mentre il materiale più nobile – il catodo – è addirittura protetto dalla corrosione. Il principio della protezione catodica si basa, infatti, su anodi sacrificali che garantiscono protezione contro la corrosione.

Il contatto tra due metalli con diverso potenziale, in soluzione elettricamente conduttiva, induce un flusso di elettroni dall'anodo al catodo. Le reazioni elettrochimiche

sono le stesse che avverrebbero naturalmente nel metallo isolato; l'attacco corrosivo all'anodo è comunque fortemente accelerato. In certi casi la formazione di elementi galvanici può portare a corrosione in materiali che altrimenti resisterebbero nell'ambiente in questione. Può essere questo il caso di materiali passivi come l'alluminio che, in certi ambienti, può polarizzarsi localmente. In tali circostanze possono osservarsi fenomeni di corrosione localizzata i.e. interstiziale o per vaiolatura che non sarebbero avvenuti senza lo spostamento in potenziale causato dalla formazione degli elementi galvanici.



*Figura 1:*  
Prerequisiti per la corrosione di metalli differenti

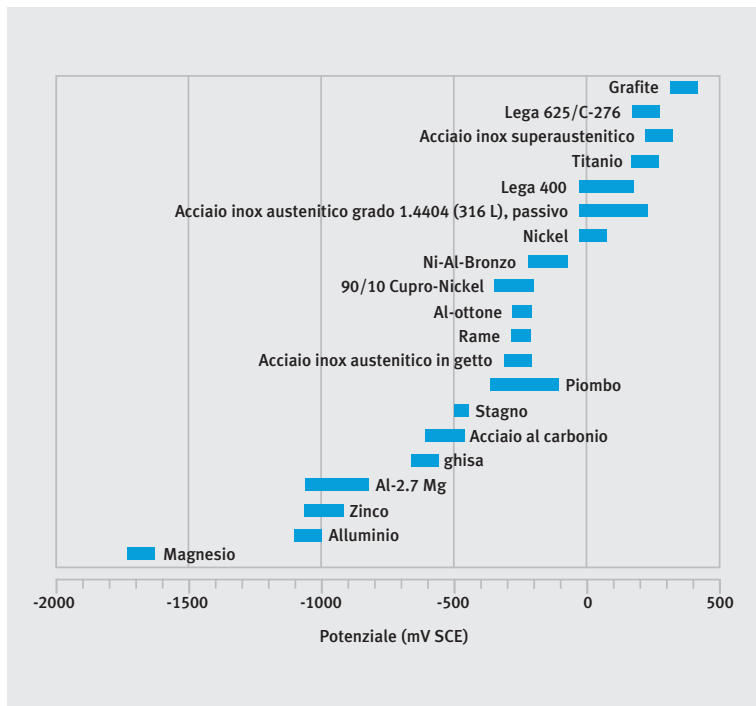
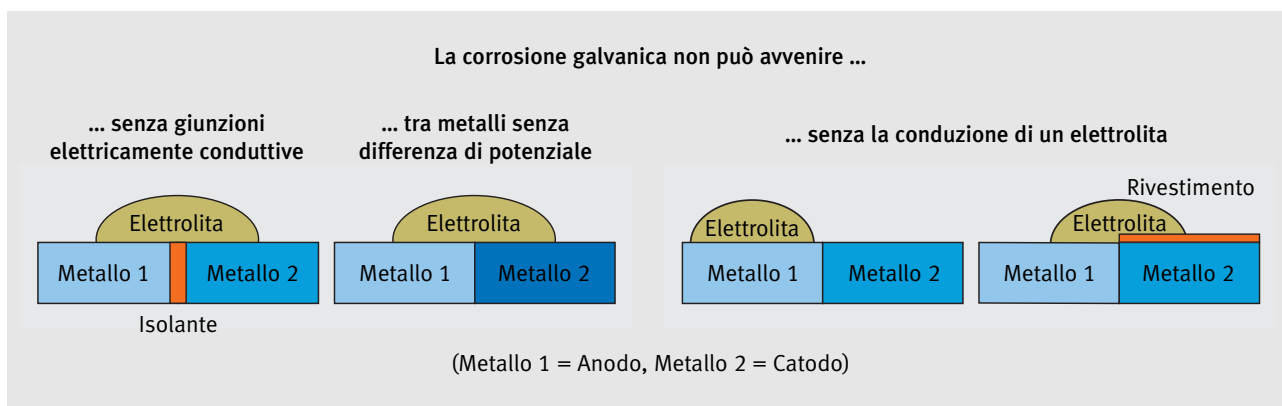


Figura 2:  
Serie galvanica in acqua di mare a 10 °C [11]

Contrariamente a quanto si possa genericamente pensare, la differenza di potenziale in una cella elettrochimica da sola non è un buon indicatore dell'effettivo rischio di corrosione galvanica. Indica solamente se di tale rischio si debba tener conto o meno. In questo contesto andrebbe ricordato che le numerose tavole pubblicate relative ai potenziali standard dei metalli forniscono solo un'approssimazione delle differenze di potenziale. Il fattore chiave non è la differenza di potenziale osservata sotto condizioni sperimentali standard quanto l'effettiva differenza di potenziale riscontrabile nelle reali condizioni operative. Per questo motivo sono state realizzate le tavole empiriche delle serie galvaniche per ambienti tipici come l'acqua di mare. Esse collocano i potenziali di vari metalli nell'ambito di un dato ambiente. (Figura 2).

La conoscenza dei prerequisiti della corrosione galvanica ed una appropriata comprensione degli esempi in Figura 3 rendono possibile la definizione di misure preventive, che verranno discusse nella sezione 5.

Figura 3:  
Condizioni in cui la corrosione galvanica non può avvenire



### 3 Fattori rilevanti ed esempi

In base alla legge di Faraday, i processi di corrosione elettrochimica sono direttamente connessi con i trasferimenti di carica, per esempio il flusso di correnti. Le correnti o le densità di corrente sono pertanto frequentemente usate per misurare la corrosione. Se le condizioni per la corrosione galvanica sono in principio rispettate, la corrente di corrosione totale  $I_{tot}$  è costituita da una corrente da auto-corrosione parziale  $I_s$  (per esempio il contributo alla corrosione che è indipendente dal contatto con altri materiali) e da una corrente di cella parziale  $I_{el}$  (per esempio il contributo dovuto alla corrente di cella tra i materiali accoppiati) (Equazione 1).

$$I_{tot} = I_s + I_{el} \quad (\text{Equazione 1})$$

L'intensità della corrosione di un elemento è determinata dalla differenza di potenziale tra i due metalli ( $\Delta U$ ), la resistenza dell'elettrolita ( $R_{el}$ ) e la resistenza di polarizzazione rispettivamente all'anodo ( $R_{p,a}$ ) e al catodo ( $R_{p,c}$ ) (Equazione 2).

$$I_{el} = \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Equazione 2})$$

Da questa equazione possono trarsi deduzioni in merito ai fattori determinanti la corrosione galvanica. Questi fattori sono critici nel determinare se la corrosione metallica diverrà un problema tecnicamente rilevante o meno.

#### 3.1 Resistenza dell'elettrolita

Il rischio di corrosione galvanica diminuisce al crescere della resistenza dell'elettrolita. Questo in quanto la portata della corrente galvanica è ridotta e lo spostamento di

potenziale all'anodo è limitato, come illustrato in Figura 4.

La misura del potenziale alla superficie identifica nel caso di anodo isolato la posizione dei rispettivi potenziali al catodo e all'anodo, indipendentemente l'uno dall'altro. Nell'area di transizione si osserva un marcato salto nel potenziale. Se vi è una connessione elettricamente conduttiva tra catodo e anodo, in elettroliti con elevata resistenza (come per le pellicole di acqua derivanti dal-

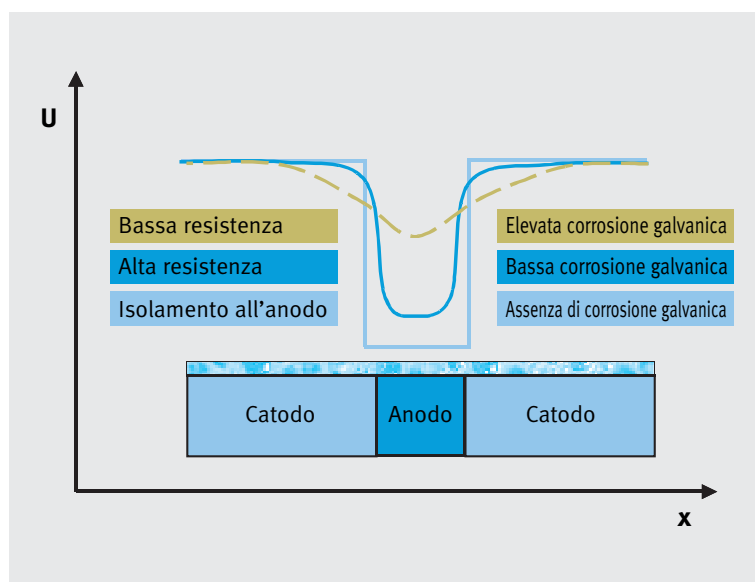


Figura 4:  
Influenza della resistenza dell'elettrolita sulla polarizzazione all'anodo

la condensazione), si osserva una bassa polarizzazione dell'anodo verso valori superiori. Nel caso di pellicole d'elettrolita a bassa resistenza (acqua salata), si misura una polarizzazione molto forte. Più è alta la polarizzazione più sarà alta la velocità di corrosione all'anodo se il materiale è attivo o maggiore sarà la probabilità di giungere al potenziale critico (attivante la corrosione) se il materiale è in uno stato passivo. La Tabella 1 mostra valori di conducibilità specifici per acque di vari tipi.

### 3.2 Permanenza in fase umida e ambiente

Vi è una forte interazione tra la resistenza dell'elettrolita e la permanenza in fase umida. Ciò è di importanza critica qualora i componenti non siano permanentemente bagnati da soluzioni acquose. Come spiegato nella descrizione dei prerequisiti per la corrosione galvanica, la pellicola di elettrolita gioca un ruolo chiave. Senza tale pellicola non vi sarebbe corrosione galvanica. Ciò implica che, in pratica, qualsiasi combinazione di materiali metallici non sia critica da un punto di vista corrosionistico se non vi è presenza di pellicola elettrolitica. Questa è una condizione tipica di ambienti interni,

in cui non vi è condensa. Negli impianti di illuminazione o nei componenti per arredo interno, in ambienti normalmente areati e riscaldati, può utilizzarsi virtualmente qualsiasi combinazione di materiali senza restrizione in termini di rischio da corrosione (*Figura 5*).

Sia il tempo d'esposizione che la resistenza dell'elettrolita dipendono fortemente dalle condizioni locali. In ambienti marini, industriali o di piscine coperte le probabilità di corrosione galvanica sono significativamente maggiori che in condizioni di atmosfera rurale. La *Figura 6* mostra l'influenza dell'ambiente sulla velocità di corrosione dello zinco con e senza contatto con acciaio inox. Si dimostra come la quota di corrosio-

*Tabella 1:  
Valori tipici di conducibilità specifica in acque di diverso tipo*

| Ambiente                 | Conducibilità specifica in $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ |
|--------------------------|--|
| Acqua pura               | $5 \cdot 10^{-8}$  |
| Acqua demineralizzata    | $2 \cdot 10^{-6}$  |
| Acqua piovana            | $5 \cdot 10^{-5}$  |
| Acqua potabile           | $2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$                        |
| Acqua salmastra fluviale | $5 \cdot 10^{-3}$  |
| Acqua marina             | $3,5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$                      |



ne di cella (per esempio la differenza tra le velocità di corrosione) ecceda quella di auto-corrosione (per esempio la velocità di corrosione dello zinco senza contatto con l'acciaio inox) in atmosfera costiera e in presenza di spruzzi di acqua di mare.

Oltre all'atmosfera dell'ambiente, i dettagli progettuali giocano un ruolo decisivo. Fattori che aiutano la pellicola umida ad asciugarsi rapidamente (aerazione adeguata, prevenzione degli interstizi, drenaggio libero dell'acqua piovana) riducono l'attacco corrosivo. Zone permanentemente umide in aree coperte o interstiziali, ristagni d'acqua e superficie sudice possono accelerare considerevolmente la corrosione galvanica.

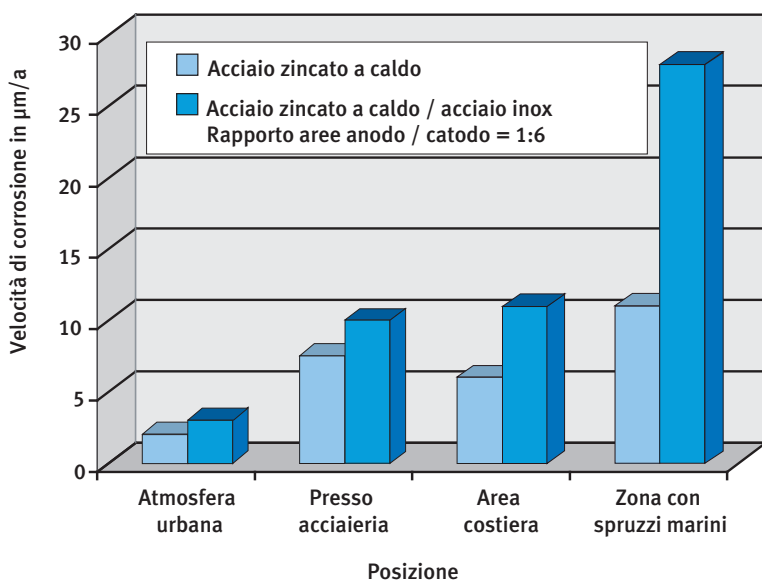


Figura 6:  
Velocità di corrosione di acciaio zincato a caldo con e in assenza di contatto con acciaio inox, in diversi ambienti

Figura 5:  
Essendo gli elettroliti tipicamente assenti in ambienti interni normalmente riscaldati ed aerati, la combinazione di acciaio inox con altri metalli, come l'acciaio al carbonio verniciato, non comporta generalmente, rischio di corrosione galvanica.

### 3.3 La cinetica delle reazioni agli elettrodi

La cinetica delle reazioni agli elettrodi è espressa nell'Equazione 3 dai valori di resistenza di polarizzazione dell'anodo e del catodo. Piccole differenze di potenziale fino anche a 100mV possono portare a corrosione, mentre metalli con differenze di potenziale notevolmente superiori possono accoppiarsi senza difficoltà. La differenza di potenziale non fornisce, di fatto, informazioni sulle cinetiche della corrosione galvanica. Le cinetiche di reazione dipendono dal metallo. Il titanio, ad esempio, riduce l'ossigeno disciolto molto meno celermente del rame. Questo spiega perché l'acciaio al carbonio si corrode molto più rapidamente a contatto col rame che col titanio, sebbene quest'ultimo abbia un potenziale positivo superiore al rame.

In tale contesto, anche la formazione di strati di corrosione gioca un ruolo decisivo. Questi possono significativamente alterare il potenziale di un materiale ed essere d'ostacolo alla reazione parziale anodica e/o catodica.

### 3.4 Aree catodica e anodica

Un fattore nel calcolo della densità di corrente di cella,  $i_{el}$  (corrente di cella relativa per unità d'area) è il rapporto tra le aree della superficie catodica ( $S_c$ ) e anodica ( $S_a$ ). Esso influenza notevolmente la velocità della corrosione galvanica (Equazione 3).

$$i_{el} = \frac{S_c}{S_a} \cdot \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Equazione 3})$$

Fintanto che l'area della superficie catodica (il metallo più nobile della coppia galvanica) è molto piccola rispetto all'area della superficie anodica (il metallo meno nobile) non si osservano cambiamenti di

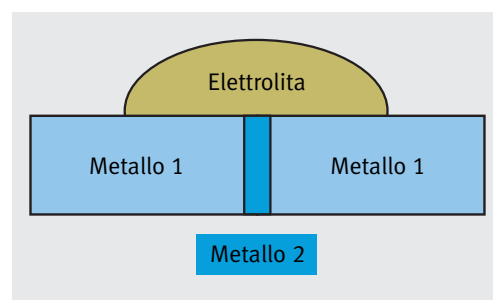
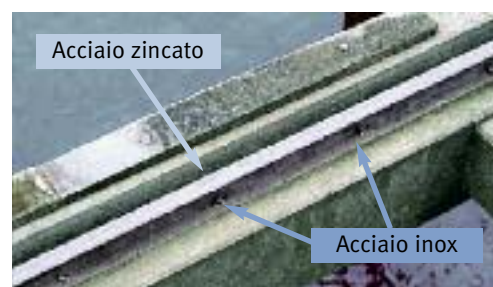
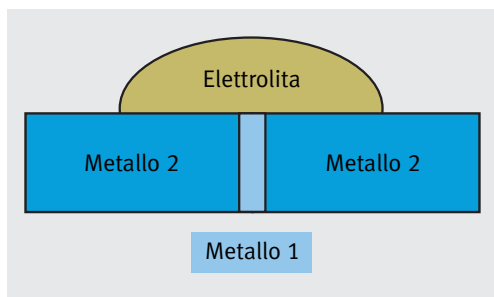


Figura 7:  
Finché il catodo (metallo 2) è piccolo rispetto all'anodo (metallo 1), non vi è alcun danno.



Figura 8a, 8b:  
Fissaggi in acciaio inox su componenti in acciaio zincato molto più grandi normalmente non causano corrosione.





*Figura 9:  
La corrosione galvanica è probabile nel caso in cui l'anodo (metallo 1) è piccolo e il catodo (metallo 2) grande*

comportamento nella corrosione. La situazione è mostrata in *Figura 7*.

Esempi tipici si trovano quando si utilizzano fissaggi in acciaio inox su componenti in alluminio o acciaio al carbonio zincato. Due applicazioni pratiche sono mostrate in *Figura 8*. Persino in condizioni corrosive, tale materiale non causa virtualmente corrosione galvanica.

In condizioni atmosferiche, è talvolta difficile quantificare le frazioni di superficie attiva anodica e catodica. Per una stima pratica però ciò potrebbe non servire. Normalmente basta considerare il sistema in generale. Nella combinazione tra materiali i fissaggi dovrebbero esser sempre realizzati

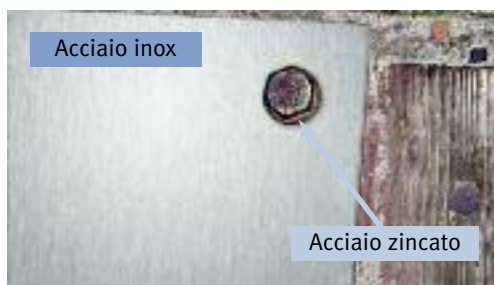
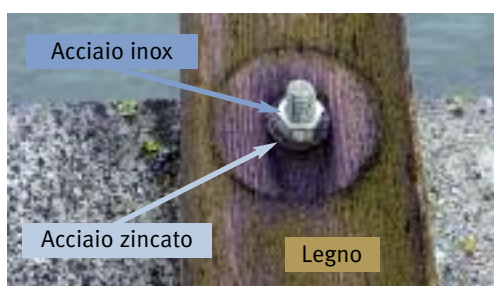
col materiale più nobile, affinché la superficie catodica sia piccola.

L'opposto, comunque, può causare problemi. Se un piccolo anodo è circondato da un grande catodo, può verificarsi la corrosione galvanica, come si vede in *Figura 9*.

Tipici esempi di tale situazione sono mostrati in *Figura 10*. In questi casi è chiaro che, in condizioni di corrosione, il metallo accoppiato potrebbe soffrire di corrosione accelerata.



*Figura 11:  
Per prevenire la corrosione galvanica su pannelli in acciaio inox dovrebbero usarsi solo elementi di unione di acciaio inox.*



*Figura 10a, 10b:  
Esempi pratici del principio mostrato in Figura 9 (acciaio al carbonio zincato a contatto con l'inox, in atmosfera marina)*

## 4 Esperienze pratiche in applicazioni varie

Sono disponibili estese ricerche ed esperienze pratiche sul comportamento a corrosione di combinazioni di materiali che coinvolgono l'acciaio inox, sotto diverse condizioni. Alcuni risultati salienti sono mostrati nelle *Tablelle da 2 a 5*. Essi sono tutti riferiti a gradi inox stabilizzati con elevato tenore di carbonio. I risultati sono in principio applicabili ai gradi basso carbonio come

1.4307 (304L) o 1.4404 (316L). Ulteriori riferimenti si trovano nella letteratura di settore, ammesso che il sistema corrosivo si consideri nella sua interezza.

L'esperienza permette, al di là dei valori numerici, di fare considerazioni generali che verranno riassunte nelle sezioni seguenti.

Tabella 2: Velocità di corrosione di vari materiali metallici a contatto con acciaio inox

| Cella Galvanica |   | Ambiente                 | Rapporto tra le aree | Velocità di corrosione (mm/a)          |
|-----------------|---|--------------------------|----------------------|--|
| 1.4016 (430)    | Acciaio al carbonio<br>Zn 99,9<br>Al 99,9<br>Cu-DGP<br>Ti | Acqua potabile, aerata   | 1:1                  | 0,47<br>0,26<br>0,17<br>0,07<br>< 0,01 |
| 1.4541 (321)    | SF-Cu   | Acqua marina artificiale | 1:1                  | 0,12                                   |
|                 |   |                          | 1:10                 | 0,07                                   |
|                 |   |                          | 10:1                 | 1,00                                   |
|                 | Acciaio al carbonio                                       |                          | 1:1                  | 0,38                                   |
|                 |   |                          | 1:10                 | 0,25                                   |
|                 |   |                          | 10:1                 | 1,10                                   |
| Zn<br>Ti        | 1:1   | 0,61                     |                      |  |
|                 | 1:1   | < 0,01                   |                      |  |

Tabella 3: Velocità di corrosione di ZnCuTi a contatto con gradi inox 1.4541 (321) e 1.4571 (316Ti) in soluzione 0.1 N di NaCl (aerata, saturata in CO<sub>2</sub>, temperatura ambiente) secondo DIN 50919

| Cella Galvanica |        | Rapporto tra le aree | Velocità di corrosione (mm/a) |
|-----------------|--------|----------------------|-------------------------------|
| 1.4541 (321)    | ZnCuTi | 1:1                  | 4,39                          |
|                 |        | 1:5                  | 1,43                          |
| 1.4571 (316Ti)  | ZnCuTi | 1:1                  | 3,88                          |
|                 |        | 1:5                  | 0,91                          |

Tabella 4: Velocità di corrosione di vari materiali metallici a contatto con diversi acciai inox in soluzione acquosa di NaCl al 5 % in vol. NaCl a 35 °C, rapporto tra le aree 1:1 (DIN 50919)

| Cella Galvanica         | Velocità di corrosione (mm/a) |                    |                       |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                         | X6CrMo17-1<br>1.4113          | X2CrTi12<br>1.4512 | X5CrNi18-10<br>1.4301 |
| Acciaio al Carbonio     | 0,62                          | 0,66               | 0,69                  |
| Acciaio zincato a caldo | 0,51                          | 0,51               | 0,55                  |
| ZnAl 4 Cu 1             | 0,66                          | 0,66               | 0,69                  |
| AlMg 1                  | 0,15                          | 0,29               | 0,29                  |
| Cu-DGP                  | 0,04                          | 0,04               | 0,04                  |
| CuZn 40                 | 0,04                          | 0,04               | 0,04                  |

Tabella 5: Velocità di corrosione di diversi materiali a contatto con acciaio inox grado 1.4439 (317LN) nel Mare del Nord (test sul campo), durata 1 anno

| Cella Galvanica |                     | Rapporto tra le aree | Velocità di corrosione (mm/a) |
|-----------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1.4439          | Acciaio al Carbonio | 1:1                  | 0,31                          |
|                 |                     | 4:1                  | 0,75                          |
|                 |                     | 10:1                 | 2,10                          |
| 1.4439          | AlMg 4,5 Mn         | 1:1                  | 0,17                          |
|                 |                     | 4:1                  | 0,26                          |
|                 |                     | 10:1                 | 0,95                          |
| 1.4439          | CuNi 10 Fe          | 4:1                  | 0,07                          |
| 1.4439          | CuZn 20 Fe          | 4:1                  | 0,18                          |

#### 4.1 Trattamento acque e reflui

In base alla sua composizione, l'effetto corrosivo dell'acqua sull'inox può variare considerevolmente: l'acqua demineralizzata, senza impurità, non è corrosiva (tranne che ad altissime temperature). L'acqua potabile o di simile composizione, contiene cloruri in concentrazione moderata (max. 250 mg/L, secondo Normativa Acqua Potabile). In circostanze sfavorevoli essi possono portare a vaiolatura o corrosione interstiziale e, sotto l'effetto combinato di alte temperature e concentrazione di cloruri, a tenso-corrosione. Nella maggioranza dei casi i gradi austenitici al CrNiMo quali 1.4401

(316), 1.4404 (316L) e 1.4571 (316Ti) resistono a corrosione se opportunamente fabbricati. Vi sono pure numerosi casi di utilizzo con successo del 1.4301 (304).

In acqua potabile il rischio di corrosione galvanica è moderato. Per tanti anni combinazioni di inox, rame, leghe di rame e ottone rosso sono state impiegate con successo in tubi per acqua fredda o calda, raccordi e serbatoi, senza danno da corrosione per contatto (Figura 12). Mentre l'acciaio al carbonio può accoppiarsi con l'inox in acqua scarsamente ossigenata, la combinazione di acciaio zincato e leghe di alluminio crea, negli ultimi, rischio di corrosione galvanica [2].



Nei sistemi fognari le condizioni sono meno ovvie. Si osserva nell'acqua una gran varietà di composizioni, alcune ad alta conducibilità e il rischio di corrosione galvanica è incrementato anche dalla elevata corrosività generale delle fogne dovuta ai molti materiali. La *Tabella 6* dà una panoramica sulla compatibilità di vari materiali in fogne aerate. Nei giunti saldobrasati, la scelta di materiale d'apporto resistente a corrosione è critica.

*Figura 12:*  
in idraulica, combinazioni di acciaio inox con rame e leghe di rame tipo bronzo vengono impiegate con successo.

*Tabella 6: Compatibilità di materiali in fogne aerate*

|                         |   | Materiali di piccola area                 |                         |    |       |              |
|-------------------------|---|---|-------------------------|----|-------|--------------|
|                         |   | Acciaio al carbonio/<br>acciaio per getti | Zn /<br>acciaio zincato | Al | Cu    | Acciaio inox |
| Materiali di vasta area | Acciaio al carbonio/<br>acciaio per getti | +*  | +*                      | -  | o / - | +*           |
|                         | Zn / acciaio zincato                      | -   | +                       | -  | o*    | +*           |
|                         | Al  | -   | o / -                   | +* | -     | +*           |
|                         | Cu  | -   | -                       | -  | +*    | +*           |
|                         | Acciaio inox                              | -   | -                       | -  | o     | +            |
|                         | Acciaio per calcestruzzo                  | -   | -                       | -  | +     | +            |

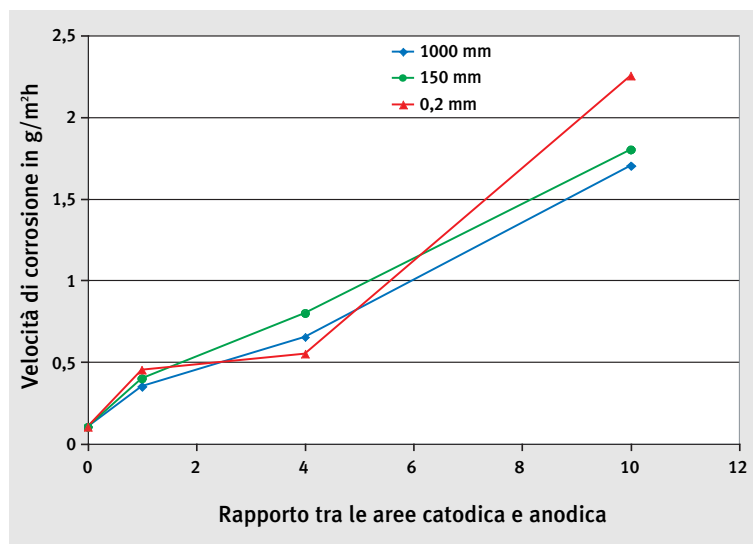
Legenda : + Buono o Dubbio - Scarso

\* Sebbene l'accoppiamento di questi metalli abbia solo una trascurabile influenza sui materiali, questa combinazione è sconsigliata a causa dell'elevata velocità di auto-corrosione del metallo meno nobile accoppiato.

L'acqua marina (con concentrazioni di cloruri tipiche dell'ordine di 16000 mg/L) e acque con livelli di cloruri similmente alte causano elevate tensioni corrosive e richiedono normalmente gradi maggiormente alligati come EN 1.4462 (329A), 1.4439 (317LN), 1.4539 (904L), o 1.4565, o superleghe base nickel. Le raccomandazioni per prevenire la corrosione di vari materiali metallici in acqua possono trarsi dalle EN 12502, parti da 1 a 5 [2]. Il rischio di corrosione galvanica dipende essenzialmente dalla conduttività dell'acqua (vedi sezione 2). Quella deionizzata è normalmente immune a riguardo.

L'acqua marina, in quanto ambiente altamente conduttivo, tende a promuovere la corrosione galvanica. Non sono solo a rischio parti costituite da lega in alluminio, zinco o acciaio zincato ma pure quelle in rame o bronzo. La *Figura 13* mostra l'influenza del rapporto catodo/anodo sulla velocità di corrosione in combinazioni di materiali che coinvolgono acciaio inox e al carbonio. E' chiaro che in tale ambiente altamente conduttivo la distanza tra catodo e anodo non ha influenza significativa. Parti metalliche possono essere soggette alla corrosione da contatto seppur relativamente distanti l'una dall'altra, ammesso che vi sia una connessione elettricamente conduttiva (ad esempio tramite una terra in comune).

C'è un generico rischio di corrosione nelle applicazioni per il trattamento acque che portano l'inox a contatto con i carboni attivi, comunemente usati nella filtrazione. In certi casi le particelle del materiale nel filtro possono distaccarsi e venire a contatto con l'inox. L'ampia area del materiale nel filtro può fungere allora da catodo e spostare la



*Figura 13:*  
L'influenza del rapporto tra le aree e la distanza tra anodo e catodo sulla velocità di corrosione dell'acciaio al carbonio a contatto con l'inox in acqua marina (immersione permanente nelle acque del Mare del Nord)

polarizzazione dell'inox da 200 a 300 mV in direzione positiva. Tale spostamento può quindi indurre corrosione interstiziale e vaiolatura nei gradi ferritici e negli austenitici non al molibdeno, anche per bassi livelli di cloruri. Un esempio di questo processo è mostrato in *Figura 14*. Qui il danno da corrosione è avvenuto in un bacino d'alimentazione di un impianto per il trattamento acque con un livello medio di cloruri di 150 mg/L, aggredendo specificamente i bulloni in inox che uniscono le piastre di base del filtro a getto col cemento armato. Vaiolatura e corrosione interstiziale erano state osservate solamente in quei filtri per piscina ove si usano i carboni attivi come mezzo filtrante e potevano venire a contatto con i bulloni durante le operazioni di risciacquo. Per i vari elementi di fissaggio il grado ferritico 1.4016 (430), come pure gli indicati 1.4301 (304), 1.4571 (316Ti) e 1.4401 (316) erano stati usati per errore. Questo grado era, come ci si poteva aspettare, il più fortemente colpito dai danni da corrosione.

Figura 14:  
Corrosione galvanica su bulloni di acciaio inox in un bacino di filtraggio relativamente ad una installazione per il trattamento delle acque con impiego di carboni attivi: il bullone d'ancoraggio in acciaio inox 1.4016 (430) montato (a sinistra) e smontato (a destra) mostra la riduzione della sezione trasversale dovuta alla corrosione.



## 4.2 Componenti esposti ad agenti atmosferici

Mentre un elettrolita è generalmente sempre presente in condutture e serbatoi per soluzioni acquose, non è necessariamente questo il caso per componenti esposti ad agenti atmosferici. La corrosione può avvenire soltanto, in tali circostanze, per esposizione all'umidità. La superficie potrebbe non necessariamente venire a diretto contatto con pioggia o spruzzi d'acqua. Microscopiche pellicole d'acqua possono spesso formarsi tramite adsorbimento di vapor acqueo dall'aria circostante. Potrebbe inoltre esserci condensa visibile. Sporco e depositi igroscopici sui componenti possono avere un'influenza significativa sulla permanenza della fase umida. Interstizi scarsamente aerati, ad esempio sotto rondelle o tra lamiere sovrapposte, possono portare alla presenza virtualmente permanente di umidità. Qui, a differenza degli elementi corrosivi in mezzi acquosi, la formazione di elementi potrebbe interessare solo un'area molto limitata. I due materiali si influenzano mutuamente solo entro una piccolissima zona lungo la linea di contatto, senza che l'area del materiale accoppiato più grande

giochi un ruolo significativo. In questi casi il rapporto tra le aree ha solo un effetto limitato sicché la ben nota regola del rapporto tra le aree non è normalmente applicabile.

A causa della limitata portata degli elementi in ambiente atmosferico, ricoprire la ristretta zona lungo la linea di contatto basta solitamente a prevenire la corrosione galvanica.

Interstizi permanentemente bagnati tra inox e un materiale meno nobile, come alluminio, zinco o parti zincate, possono essere aree con problemi. Sigillanti elastici che otturano l'interstizio sono un rimedio collaudato. Sigillanti suscettibili a infragilimento e incrinature possono tuttavia aggravare la situazione.

La *Tabella 7* fornisce informazioni sulla compatibilità di vari materiali in condizioni atmosferiche.



### 4.3 L'acciaio inox negli edifici e nelle costruzioni

L'impiego dell'inox negli edifici e nelle costruzioni è in crescita. Al di là delle sue possibilità di design architettonico la facile lavorabilità e l'alta resistenza a corrosione sono di importanza capitale. L'inox è utilizzato per superficie a vista, elementi strutturali e di fissaggio (come bulloni). I gradi più comuni sono i tipi 18/8 CrNi (304) e 17/12/2 CrNiMo (316) – quest'ultimo in particolare per facciate d'elevata qualità in ambienti urbani e industriali o componenti strutturali inaccessibili quali supporti di facciate. Potrebbe essere difficile evitare l'unione di inox ad altri materiali metallici. Il comportamento nei riguardi della corrosione dipende in modo cruciale da fattori progettuali: su superficie bagnate da pioggia o condensa in interni o all'esterno, l'interazione tra metalli non prosegue e rimane rilevante solo nelle immediate vicinanze della linea di contatto.

Negli elementi esposti agli agenti atmosferici e alla condensa, la permanenza in fa-

se umida è il fattore chiave. Esposizioni brevi e saltuarie alle pellicole umide non portano normalmente alla corrosione galvanica; i fattori progettuali sono pertanto di totale importanza. Fattori che favoriscono la veloce essiccazione delle pellicole umide (buona aerazione, assenza di interstizi, drenaggi aperti per acque piovane, superficie levigate) riducono l'attacco della corrosione. Aree costantemente umide (in interstizi o aree schermate), ristagni d'acqua e sporco possono tuttavia aumentare notevolmente il rischio di corrosione galvanica. I componenti esposti agli agenti atmosferici nei quali lo sporco è rimosso dalla pioggia e che sono sufficientemente areati in modo da asciugarsi rapidamente, sono meno vulnerabili alla corrosione rispetto ad aree anguste le quali, quantunque protette dalla pioggia, rimangono umide per lunghi periodi e permettono allo sporco di accumularsi.

Sebbene i rapporti tra le aree sono solo di limitata importanza, andrebbero generalmente evitati progetti con piccoli anodi e catodi relativamente grandi. La corrosione gal-

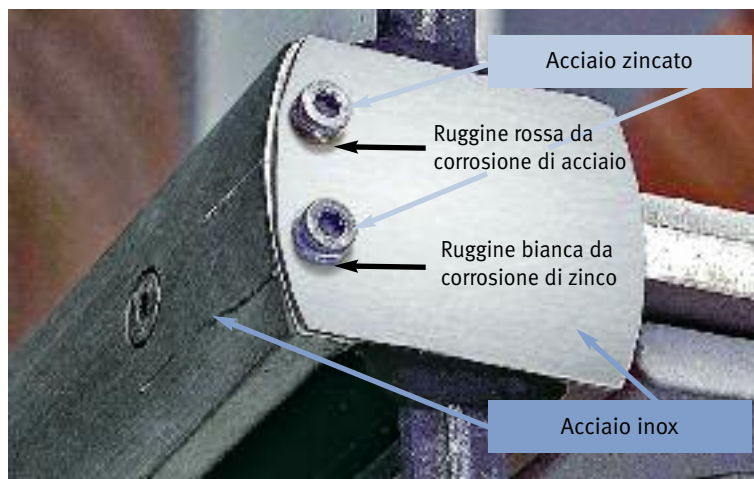
Tabella 7: Compatibilità tra materiali esposti ad agenti atmosferici

| Materiale di elevata superficie |                             | Materiale di piccola superficie |                      |       |       |              |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|-------|-------|--------------|
|                                 |                             | Acciaio al carbonio / ghisa     | Zn / acciaio zincato | Al    | Cu    | Acciaio inox |
|                                 | Acciaio al carbonio / ghisa | +                               | -                    | -     | +     | +            |
|                                 | Zn / acciaio zincato        | +                               | +                    | +     | o     | +            |
|                                 | Al                          | o / -                           | o                    | +     | o / - | +            |
|                                 | Cu                          | -                               | -                    | -     | +     | +            |
|                                 | Acciaio inox                | -                               | -                    | o / - | +     | +            |

Legenda: + Buono o Dubbio - Scarso

\* Sebbene l'accoppiamento di questi metalli abbia solo una trascurabile influenza sui materiali, questa combinazione è sconsigliata a causa dell'elevata velocità di auto-corrosione del metallo accoppiato meno nobile.

Figura 15:  
Fissaggio di una  
copertura di acciaio inox  
(su un gruppo facciata)  
mediante bulloni zincati:  
i bulloni mostrano  
ruggine bianca e scolori-  
mento iniziale (corro-  
sione dell'acciaio) dopo  
un anno in atmosfera  
urbana



vanica, a meno che non si osservi tale principio, è possibile anche in zone ben areate.

La *Figura 15* mostra un esempio. L'estremo superiore di una sezione orizzontale in inox di una facciata in vetro acciaio era stata ricoperta usando due bulloni zincati. A partire dall'interstizio tra la copertura e il bullone questi mostrano formazioni di ruggine bianca e, a un certo livello, anche corrosione del materiale base. Questi fenomeni sono stati osservati dopo solo 12 mesi circa di servizio, il che indica che questa non è una soluzione durevole. Bulloni in inox dovrebbero sostituire quelli in acciaio zincato.

Nella tecnologia dei tetti, – sia per edifici nuovi che restaurati – l'inox è prevalentemente usato per bulloni a contatto con altri metalli o materiali con rivestimenti metallici. Grazie al favorevole rapporto tra aree anodi-

ca e catodica non vi è generalmente rischio di corrosione in tale combinazione di materiali. Nelle riparazioni di tetti non è insolito unire superfici in inox maggiori rispetto a quelle di altri metalli. Tali combinazioni possono anche considerarsi non critiche a meno che il rapporto tra le parti in inox e quelle in alluminio o zincate non ecceda significativamente 1:1.

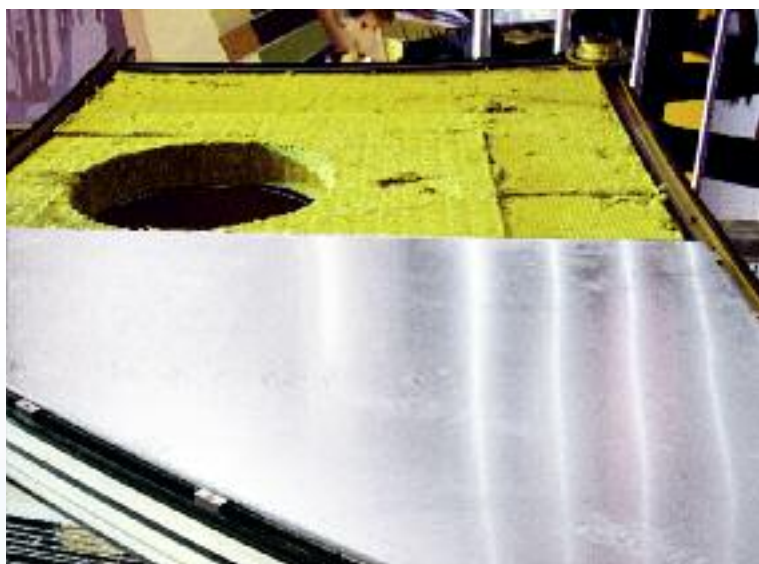
Le *Figure da 16 a 19* mostrano esempi pratici di efficace prevenzione del rischio di corrosione galvanica in ambito edilizio.



*Figura 16:  
Fissaggio di pannelli  
esterni in acciaio inox  
sulla struttura in  
acciaio al carbonio  
dell'Atomium, Bruxelles*



*Figura 17:  
Il pannello esterno in  
acciaio inox è isolato  
dal pannello interno in  
acciaio zincato mediante  
opportuni giunti.*



*Figura 18:  
Fabbricazione di pannelli  
isolanti usando acciaio  
inox per il guscio esterno  
e acciaio zincato per  
quello interno*



*Figura 19:  
Per prevenire la corrosione  
galvanica il fissaggio del  
rivestimento in acciaio  
inox alla struttura interna  
in acciaio al carbonio  
avviene in ambienti non-umidi.*



*Figura 20:  
Nei sistemi di scarico  
auto, l'inox è la norma.  
Le parti in gomma dei  
fissaggi evitano la  
corrosione galvanica.*

*Figura 21:  
L'acciaio inox viene  
sempre più impiegato  
nei serbatoi carburante.  
I fissaggi che li mantengono  
in sede assicurano  
l'interruzione di contatto  
elettrico ai giunti.*

#### 4.4 L'acciaio inox nelle applicazioni per il trasporto

Nelle automobili come in altri veicoli stradali, l'acciaio inox (gradi ferritici con tenore in cromo dal 12 % al 18 % ed austenitici col 18 % circa in cromo) è impiegato per modanature, sistemi di scarico (*Figure 20*), serbatoi carburante (*Figure 21*) e, in misura crescente, componenti scocca e autotelaio. Nelle applicazioni ferroviarie, i gradi ferritici abbinati a rivestimenti, sono una opzione comune (*Figure 22, 23, 24*). Vi è inoltre una lunga tradizione di utilizzo di acciai inox austenitici per vagoni ferroviari (*Figure 25*), in molte parti del mondo, senza problemi di corrosione galvanica.





Figura 22:  
Semplici tecniche di isolamento rendono compatibile la carrozza in inox del veicolo col telaio in acciaio al carbonio.

Figura 23:  
Su questo lato della parete di un treno pendolare, la struttura ed i pannelli esterni sono costituiti da differenti qualità di acciaio inox. Avendo questi il medesimo potenziale, non può aver luogo la corrosione galvanica.



Figura 24:  
L'inox (di solito di tipo ferritico, verniciato), impiegato in bus e pullman, si è dimostrato compatibile con telai in acciaio al carbonio.

E' essenziale anche qui evitare interstizi tra componenti in inox e in materiali meno nobili, in cui attacchi corrosivi possono aver luogo per sporco e umidità. Ancora una volta gli interstizi possono otturarsi con un polimero adatto. Altra efficace protezione contro la corrosione galvanica, nelle applicazioni per il trasporto, è rivestire localmente la zona di contatto lato inox, come anzi descritto.



Figura 25:  
Vetture ferroviarie con pannelli esterni in acciaio inox austenitico sono state impiegate in molte zone del mondo, senza alcun problema di corrosione galvanica.

## Domande frequenti

**Domanda:**

Esiste un rischio di corrosione nell'unione tra acciai inox di diversa composizione chimica?

**Risposta:**

Tra acciai inox di tipo diverso (anche con classi diverse di resistenza a corrosione) non vi è in genere corrosione galvanica, in quan-

sere sufficientemente resistente pure nelle condizioni in oggetto (Figura 26).

**Domanda:**

Si può usare l'inox in combinazione con rame o acciaio zincato per le riparazioni idrauliche domestiche?

**Risposta:**

Non c'è da aspettarsi alcun problema se si abbina l'inox a elementi idraulici in rame, avendo entrambi i materiali simile potenziale di resistenza a corrosione in acqua potabile. Componenti idraulici realizzati in acciaio zincato a caldo possono unirsi anche con quelli in inox. Sono comunque indicati raccordi in lega di rame-zinco o ottone rosso.

**Domanda:**

Si possono unire tondini in inox con acciaio al carbonio nel cemento armato?

**Risposta:**

Si, per i sostegni in acciaio al carbonio tale combinazione non pone normalmente problemi di corrosione, essendo identici i relativi potenziali. Questa combinazione può

Figura 26:  
la corrosione galvanica non ha luogo tra tipi di inox diversi, anche se non hanno stessa resistenza a corrosione.



to i potenziali liberi di corrosione di entrambi i metalli accoppiati sono identici. Comunque la resistenza a corrosione di ogni lega va considerata individualmente. Il materiale con minor resistenza a corrosione deve es-

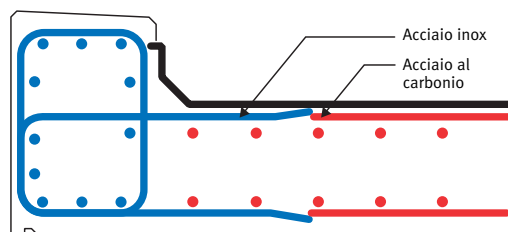
impiegarsi per prevenire la corrosione dove il sostegno va in profondità nel cemento o viene a contatto con i tubi. Il giunto deve trovarsi ben all'interno ad una profondità minima di 3 cm. Se il tondino in acciaio al carbonio è in stato attivo (per es. si è depassivato per l'influenza di cloruri e/o carbonatazione), la corrosione galvanica è possibile. Nella maggior parte dei casi, comunque, l'effetto è molto meno rilevante rispetto a quello generato dal contatto fra il tondino in acciaio al carbonio attivo e passivo (corrosione galvanica da elemento attivo/passivo), in quanto l'efficienza catodica dell'acciaio inox è di gran lunga inferiore a quella dell'acciaio al carbonio (Figura 27).

**Domanda:**

Le rondelle costituite da elastomeri isolanti sono efficaci nel prevenire la corrosione da contatto nei giunti meccanici?

**Risposta:**

Sebbene non si interrompa, in questo giunto, il contatto metallico tra i materiali nella zona della filettatura, l'uso di tali ron-



*Figura 27:  
Premesso vi sia una minima copertura di cemento e che l'acciaio al carbonio sia nel suo stato passivo, rinforzi in inox possono unirsi senza rischio alcuno di corrosione galvanica con l'acciaio al carbonio*

delle è raccomandabile in quanto ulteriore copertura per le aree più a rischio.

**Domanda:**

Si possono abbinare inserti in acciaio inox con montanti in acciaio al carbonio nei parapetti?

**Risposta:**

Se il progetto prevede la formazione di un elettrolita (per es. pioggia o acqua/neve) per estesi periodi, tale contatto diretto è accettabile. Altrimenti andrebbero usate boccole in plastica.

## 5 Prevenzione della corrosione galvanica

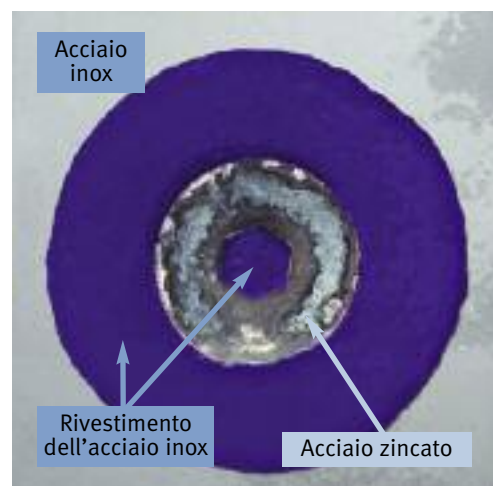
La maniera ovvia di prevenire la corrosione galvanica è quella di individuare, in fase di progetto, materiali opportunamente compatibili. Qualora i materiali da impiegarsi possano interferire tra loro, vanno adottate precauzioni. La sezione 2 fornisce degli orientamenti sulla natura di queste precauzioni. La *Figura 3* descrive le possibilità pratiche:

- Isolamento elettrico tra i componenti (isolanti, boccole in plastica o rondelle in poliammide)
- Posizionamento del giunto in area non esposta all'umidità
- Rivestimento di catodo o anodo e catodo (su una vasta area o localmente, presso il giunto).

Da notare che rivestire il solo anodo non è il modo adatto per prevenire la corrosione galvanica. Imperfezioni del rivestimento o danni localizzati, difficili da evitare in loco, creano un elemento di corrosione critico: qualunque danno al rivestimento rende

esposto un piccolo anodo che si corrode poi rapidamente. Per ridurre l'effetto catodo del componente in inox, spesso basta rivestire l'acciaio inox in prossimità del giunto (*Figura 28*). L'ampiezza della zona coperta dipende dalla conducibilità dell'ambiente corrosivo. Nei componenti esposti ai normali agenti atmosferici con film elettrolitici piuttosto sottili e scarsamente conduttivi, basta di solito rivestire un'area di soli pochi centimetri di larghezza lungo la linea di contatto lato inox. Nelle pellicole liquide salate dello spessore di diversi mm l'area catodica effettiva può superare i 10 cm di larghezza.

*Figura 28:*  
Prevenzione della corrosione da contatto nell'acciaio zincato tramite rivestimento di una piccola area lato inox. Risultati di un test di 48 ore in camera a nebbia salina: senza rivestimento la corrosione galvanica induce ruggine (a sinistra), mentre il rivestimento dell'acciaio inox nell'area di contatto previene la corrosione galvanica (a destra).





## 6 Bibliografia

- [1] DIN EN ISO 8044,  
Ausgabe:1999-11  
Korrosion von Metallen und  
Legierungen – Grundbegriffe  
und Definitionen
- [2] DIN EN 12502  
Teil 1 bis 5, Ausgabe:2005-03  
Korrosionsschutz metallischer  
Werkstoffe – Hinweise zur  
Abschätzung der Korrosionswahr-  
scheinlichkeit in Wasserverteilungs-  
und Speichersystemen
- [3] H. Gräfen,  
"Korrosionsschutz durch  
Information und Normung"  
Kommentar zum DIN-Taschenbuch  
219, Verlag Irene Kuron, Bonn (1988)  
S. 37
- [4] H. Spähn, K. Fäßler  
"Kontaktkorrosion"  
Werkstoffe und Korrosion 17 (1966)  
S. 321
- [5] D. Kuron  
"Aufstellung von Kontaktkorrosions-  
tabellen für Werkstoffkombinationen  
in Wässern"  
Werkstoffe und Korrosion 36 (1985)  
S. 173
- [6] D. Kuron, E.-M. Horn, H. Gräfen  
"Praktische elektrochemische  
Kontaktkorrosionstabellen von  
Konstruktionswerkstoffen des Chemie-  
Apparatebaues"  
Metalloberfläche 26  
(1967) Nr. 2, S. 38
- [7] H. Spähn, K. Fäßler  
"Kontaktkorrosion im  
Maschinen- und Apparatebau"  
Der Maschinen Schaden 40 (1967)  
Nr. 3, S. 81
- [8] W. Schwenk  
"Probleme der Kontaktkorrosion"  
Metalloberfläche 35  
(1981) Nr. 5, S. 158
- [9] K.-H. Wiedemann, B. Gerodetti,  
R. Dietiker, P. Gritsch  
"Automatische Ermittlung von  
Kontaktkorrosionsdaten und ihre  
Auswertung mittels  
Polarisationsdiagrammen"  
Werkstoffe und Korrosion 29 (1978)  
S. 27
- [10] E. Hargarter, H. Sass  
"Kontaktkorrosion zwischen verschie-  
denen Werkstoffen in Meerwasser"  
Jahrbuch der Schiffbautechnischen  
Gesellschaft 80  
(1986) S. 105
- [11] R. Francis  
"Galvanic Corrosion:  
a Practical Guide for Engineers"  
NACE International (2001)  
Houston Texas 77084  
ISBN 1 57590 110 2
- [12] GfKorr-Merkblatt 1.013  
"Korrosionsschutzgerechte  
Konstruktion"  
(2005)
- [13] Allgemeine bauaufsichtliche  
Zulassung Z-30.3-6  
"Erzeugnisse, Verbindungsmittel und  
Bauteile aus nichtrostenden Stählen"  
(jeweils gültige Fassung)  
Sonderdruck 862 der Infor-  
mationsstelle Edelstahl Rostfrei



ISBN 978-2-87997-329-6