

Fornitura di acqua potabile

CORROSIONE ED ASPETTI RELATIVI AI MATERIALI

Si parla di "emergenza acqua", ma troppo poco è stato ancora fatto. E' sempre più necessario approfondire la conoscenza delle cause per trovare il corretto rimedio al problema.

di Pier Luigi Bonora

È noto che le reti di tubazioni per il trasporto e la distribuzione dell'acqua potabile rappresentano un problema importante di "rendimento", dato che circa il 40% del fluido viene disperso nel percorso fra l'approvvigionamento e l'utilizzo.

Certamente parte di queste perdite è dovuta a vecchie impianti ed a particolari condizioni ambientali, ma in molti casi è anche legata a carenze dei materiali e quindi a prematuro attacco corrosivo.

Il fatto che il contenimento dell'acqua sia soprattutto legato a materiali metallici fa sì che la corrosione sia in effetti uno dei principali problemi degli acquedotti. Se unicamente l'acqua fosse trasportata in condotte interrate si avrebbe molta minor probabilità di attacco corrosivo.

In realtà la presenza contemporanea di acqua, metano, gas, petrolio e condutture elettriche fa sì che la circolazione di correnti disperse nel terreno porti a parecchi fenomeni di corrosione, per i quali c'è soltanto una possibilità di rimedio ed è quella della pacificazione, dell'accordo, del compromesso fra le diverse utilizzazioni, fra le

diverse protezioni delle strutture interrate. Inoltre, dal momento che migliaia e migliaia di chilometri di condutture vengono costruiti e posti in opera, i materiali di cui queste condutture sono fatte debbono contemporaneamente soddisfare due necessità vitali: la prima di essere efficienti e la seconda di avere un costo adeguato alle possibilità economiche delle aziende utilizzatrici.

Ne consegue che la qualità media non potrà essere eccelsa e di conseguenza la durabilità sarà demandata esclusivamente ad una costanza di livello qualitativo minimo accettabile; il problema quindi consiste nella costante osservanza dei requisiti minimi di qualità; quindi il controllo continuo in fase di progetto delle specifiche qualitative minime accettabili per le condutture ed il conseguente controllo della corrispondenza ad esse dei materiali acquisiti sono molto più importanti dell'innovazione e dell'innalzamento generale del livello qualitativo, dal momento che il fattore economico è spesso determinante nel definire la durabilità ed affidabilità.

In questo lavoro verranno brevemente analizzate le caratteristiche di

resistenza alla corrosione ed al degrado dei materiali più comunemente impiegati per il contenimento dell'acqua potabile, quali la ghisa, il cemento, l'acciaio nudo, zincato o rivestito, il rame, il piombo (ancora in uso nonostante molte severe restrizioni), l'acciaio inossidabile e le materie plastiche. Verrà infine presentato un caso di corrosione in tubazioni di acciaio dovuto a scarsa considerazione della qualità dei materiali ed alle conseguenze che ne possono derivare ai fini della creazione di pericolose coppie galvaniche localizzate (1).

La corrosione

Quali sono i meccanismi attraverso i quali interviene la corrosione? Ovviamente non è questa la sede per disquisirne, e si rimanda perciò a trattati e manuali, di facile consultazione (2, 3, 4, 5). Tuttavia si deve mettere in evidenza l'estrema semplicità della *driving force* della corrosione: un anodo, un catodo, un elettrolita, una continuità elettrica fra i tre componenti. È tutto. Una pila, dunque. C'è però una sostanziale differenza fra



Una delle tante... sorgenti che portano a perdere fino al 40% dell'acqua potabile trasportata.

gli elementi galvanici destinati a trasformare energia chimica in energia elettrica e quelli in corto circuito nel metallo che si corrode. L'energia dei primi viene utilizzata come forza elettromotrice, in senso lato; i secondi, invece, dissipano tutta l'energia in dissoluzione ossidativa dell'anodo ed in calore disperso.

Nella lamiera zincata, ad esempio, in presenza di un'atmosfera umida (e spesso ricca di sali) che funge da elettrolita, lo zinco agisce da anodo e si scioglie (o si corrode, se preferite) mediante reazioni di ossidazione, mentre l'acciaio, più nobile nella scala di potenziali elettrochimici, è il catodo e su di esso possono avvenire solo reazioni di riduzione, che non coinvolgono perdite di materiale, ma solo modificazioni degli elementi costituenti l'elettrolita (di solito è l'ossigeno disciolto che *si riduce*). La differenza di potenziale, e quindi la corrosione che ne consegue, fra ferro e zinco,

è abbastanza ovvia e macroscopica.

Tuttavia, lo zinco si corrode anche in assenza del ferro. Ed anche il ferro si consuma spontaneamente per corrosione, al ritmo di 20 Kg per ogni tonnellata prodotta annualmente. In questi casi, l'azione galvanica è esercitata da differenze di potenziale esistenti in scala microscopica sulla superficie del metallo.

Come si può evitare la corrosione? Anzitutto conoscendo il fenomeno nei suoi meccanismi e riconoscendo nell'interazione con l'ambiente tutte le possibili cause di attacco.

Consapevolezza del pericolo, quindi, che significa indagine conoscitiva professionale ed esperta di tutti i parametri coinvolti: in primis, il metallo. Sono circa 40.000 le leghe metalliche di interesse applicativo, molte delle quali rientrano in classificazioni comuni (ottoni, bronzi, acciai inossidabili, leghe leggere ecc.), ma già esistono almeno 10 tipi diversi di *rame*

dei quali solo 2 o 3 sono idonei, ad esempio, per impianti idro-sanitari di gran pregio! La scelta accurata del miglior componente metallico (ovviamente anche come rapporto qualità/prezzo e come possibile manutenzione programmata in funzione della vita utile attesa) produrrà la massima possibile affidabilità solo se "l'ambiente corrosivo" sarà ben conosciuto. Non basta, ad esempio, riferirsi ad "acqua" tout court. Il termine in sé ha solo il significato di solvente polare debolmente ionizzato. Ai fini corrosionistici l'acqua dovrà essere classificata in base ai suoi costituenti.

Caratteristiche dell'acqua potabile e normativa

Esula da questo contesto una trattazione delle caratteristiche costitutive dell'acqua potabile, per la quale si rinvia, ad esempio, al bellissimo volume

CORROSIONE ED ASPETTI RELATIVI AI MATERIALI

"Aqua", del Prof. Franco De Francesco (6), dal quale traggio la tabella 1, indicativa della variabilità di composizione di un'acqua potabile.

Quanto alla classificazione ed alla normativa di tolleranza dei componenti non graditi e della qualità in base ai costituenti desiderabili, la CEE ha costituito nell'ambito del CEN (Comité Européen de Normalisation) una rete di Gruppi di lavoro che dovranno fornire le basi di una normativa comune. Il lavoro, lento e complesso, deve tener conto delle resistenze dei Paesi più esposti a variabilità incontrollabile di condizioni ambientali. La rete di Gruppi di Lavoro deve riferire al Technical

Committee (TC) 164 "Water Supply"; molti Gruppi "ad hoc" sono costituiti (HOG) riferiti a specifici argomenti ("parametri organolettici", "parametri microbiologici", "liste positive", quest'ultimo correlato a tutto quanto è attualmente consigliato o permesso nei Paesi Membri). Certamente la Commissione XI della CEE dovrà essere prima o poi pesantemente coinvolta.

Parametri chimico-fisici dell'acqua influenti sulla corrosione

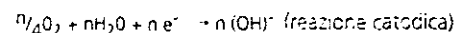
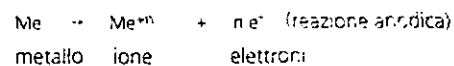
1 - Gas disciolti

a) *Contenuto d'ossigeno*: l'ossigeno è il più importante costituente attivo nei confronti della corrosione: stimola le reazioni catodiche ed è perciò dannoso; favorisce la formazione di prodotti ossidati e pertanto, se questi sono del tipo protettivo, può essere favorevole.

Il contenuto di ossigeno in un'acqua potabile è compreso, in condizioni di saturazione, fra 8 (0°C) e 14 (25 °C) g/m³; acque asfittiche possono derivare da reazioni di ossidazione di sostanze

organiche, o di cationi, o di composti azotati.

Praticamente tutte le reazioni di corrosione che avvengono in ambiente neutro (e che coinvolgono la dissoluzione del metallo come processo anodico) sono sostenute da reazioni catodiche di riduzione dell'ossigeno, secondo questo schema per un metallo di valenza n:



L'ossigeno è quindi un potente "corrosivo" in quanto è l'indispensabile consumatore di elettroni lasciati in eredità dal metallo che si scioglie come ione positivo. L'acqua "asfittica" è un ambiente molto poco aggressivo.

E' perciò essenziale l'apporto di ossigeno alla superficie del metallo, che si ottiene per contatto dell'acqua

Tabella 1 - Variabilità di concentrazioni ioniche in acque naturali comuni (valori indicativi)

Costituenti maggiori mg/l

ioni sempre presenti:

Ca ²⁺	4/100
Mg ²⁺	1/50
Na ⁺	1/20
K ⁺	1/10
HCO ₃ ⁻ (CO ₃ ²⁻)	10/150
S come SO ₄ ²⁻	5/50
Si come SiO ₂ (?)	1/25
Cl ⁻	1/30
F ⁻	0,050/1000

indesiderabili mg/l:

Fe	0,050/1000
----	------------

Costituenti minori µg/l

Ag	0,01/1
Al	20/500
As	1/20
Au	0,001/0,01
B	30/100
Cs	0,05/1
Cu	0,1/1
Hg	0,005/0,05
Li	1/10
Ni	0,1/10
Sr	10/500
Zn	0,01/

indici di inquinamento mg/l:

NH ₄ ⁺	0,5/10
NO ₂ ⁻	0,01/0,5
NO ₃ ⁻	0,01/0,5
PO ₄ ³⁻	0,010/0,500

PROCESSI

con l'atmosfera e mediante moti convettivi.

b) *L'anidride carbonica*: la sua presenza, assieme a quella dei cationi "incrostanti" calcio e magnesio, al variare della temperatura, della durezza e del pH dell'acqua, definisce le condizioni di aggressività o di protezione, in funzione della presenza e stabilità di eventuali strati protettivi incrostati sulle superfici contenenti l'acqua. La trattazione di questo fenomeno è complessa e soggetta a numerose eccezioni.

c) *Azoto*: è praticamente ininfluente, ma sempre presente assieme all'ossigeno di origine atmosferica.

d) *Altri gas*: derivano di solito da disgregazioni di materiale organico, o inquinamento esterno (H_2S , NH_3 , SO_2 , idrocarburi). La loro presenza è indesiderabile e provoca fenomeni corrosivi specie su leghe di rame.

2 - Durezza

Varia da acque dolci (< 50 p.p.m. $CaCO_3$) ad acque molto dure (>350 p.p.m. $CaCO_3$). Da sola non può definire condizioni di corrosività, cui contribuiscono molti altri fattori, tuttavia si può dire:

- acque molto dolci sono generalmente acide e non incrostanti e pertanto aggressive;
- acque molto dure sono di solito protettive, a meno che l'incrostazione, a volte troppo spessa, non tenda a distaccarsi localmente;
- condizioni intermedie dipendono fortemente da complessi equilibri che spesso producono depositi debolmente aderenti.

3 - Sali sciolti

Alcuni, in concentrazioni adeguate, possono essere buoni inibitori di corrosione e sono frequenti nelle acque delle zone geotermiche: nitrati, fosfati, silicati, borati.

Qualche problema di corrosione è stato segnalato, recentemente, laddove i fluoruri siano stati aggiunti artificialmente (per i noti motivi legati alla carie dentaria). I cloruri sono, evidentemente, i più pericolosi, in concentrazioni diverse a seconda dei materiali con cui vengono a contatto.

I cationi e gli anioni non incrostanti

sono i responsabili della conducibilità dell'acqua, i cui valori elevati sono collegati all'efficienza degli elementi galvanici in corto circuito, diminuendo la resistenza esterna degli stessi e facilitando perciò i processi corrosivi. La presenza di ioni rame (ammessa per via della riconosciuta non tossicità) può provocare corrosioni localizzate su alluminio o su zinco e zincature. Altri cationi sono più o meno influenti.

4 - Sostanze organiche

Dovrebbero essere assenti; tuttavia è raro che un'acqua sia definibile *apirrogena*. La presenza di nitriti e nitrati è spesso sintomo di una precedente ossidazione di sostanze organiche (o biologiche).

5 - pH

L'effetto del pH nello stabilire gli stati stazionari derivanti dalla presenza di altri costituenti dell'acqua è ben evidente, specialmente per quanto concerne la formazione di depositi.

Normalmente un'acqua potabile ha un pH compreso fra i valori di 4.5 e 8.5. La velocità di corrosione del ferro è praticamente costante in questo intervallo, ma evidentemente i prodotti di corrosione saranno ben diversi; tra pH 7.5 e 9 la tendenza sarà all'ostruzione per eccesso di depositi o alla tubercolazione. Per valori bassi, si avranno le cosiddette "acque rosse". La ghisa ha comportamento analogo, ma può grafitizzare a valori di pH bassi. Degli altri metalli tratteremo a parte.

6 - Fluidinamica

Il moto relativo dell'acqua rispetto alle pareti del contenitore metallico è fattore importantissimo nel determinare la resistenza di quest'ultimo. Acque stagnanti favoriscono corrosioni localizzate per formazione di depositi. Una bassa velocità favorisce l'apporto di ossigeno con conseguenze *negative* per l'azione delle reazioni catodiche sopra citate, ma anche *positive*, come vedremo, perché l'ossigeno favorisce la formazione di strati protettivi ossidati sulle leghe passivabili, quelle cioè che dipendono, per la

loro stabilità ed inerzia chimica, da uno strato passivo costituito da ossidi dotati di continuità, impermeabilità, estrema sottigliezza (3-4 filari di atomi) e facilità di ricostruzione in caso di danneggiamento.

Tipicamente, tali materiali sono il titanio, e gli acciai inossidabili. Diversa è la situazione per l'alluminio e sue leghe, per i quali gli strati protettivi sono vere e proprie barriere fisiche, molto più spesse specie se ottenute artificialmente (ossidazione anodica), e per il rame e sue leghe, la cui ossidazione varia moltissimo a seconda dell'ambiente e delle aggiunte in lega. Velocità troppo elevate provocano corrosione-erosione e, specialmente sulle leghe passivabili, la cavitazione che è un fenomeno collegato alla violenta implosione di bolle di gas sulla superficie metallica, sviluppando pressioni di 40.000 Kg/cm².

La fluidinamica configura una sollecitazione, parametro importantissimo per definire un ambiente. Altre sollecitazioni esterne possono essere: *carichi stazionari* (pesi, tensioni, flessioni ecc.) e *carichi alternativi* (vibrazioni, ed altre alterazioni variabili dell'assetto, quali ad esempio le deformazioni delle pareti di un contenitore riempito in modo discontinuo). Questi parametri, anche se di entità bassissima e quindi ben al di sotto dei limiti di resistenza di materiali, se accoppiati ad un ambiente anche debolmente aggressivo, provocano un potente sinergismo di azione, noto col nome di corrosione mecano-chimica (stress-corrosion, fatigue-corrosion, cavitazione, fretting-corrosion).

7 - La temperatura

La velocità di flusso e la temperatura hanno effetti simili a quelli che si verificano in altri ambienti condensati; essi sono legati all'aumento della velocità di corrosione, alla stabilità dei prodotti di corrosione; notiamo solo che la solubilità dell'ossigeno diminuisce all'aumentare della temperatura, per cui oltre i 65-70°C i rischi di corrosione sono scarsi.

Ricordiamo anche la ben nota inversione di coppia Fe-Zn ad alte temperature, e la possibilità di coppie termo-

CORROSIONE ED ASPETTI RELATIVI AI MATERIALI

galvaniche.

8- La disinfezione

La disinfezione dell'acqua è un processo che presenta rischi ai fini della corrosione degli impianti.

Generalmente è necessaria una disinfezione della rete per acqua potabile all'interno delle abitazioni prima di collegarla alla rete pubblica. Questa operazione al presente viene realizzata in tutti gli edifici costruiti a Parigi e nelle aree suburbane. Il prodotto chimico usato attualmente è il permanganato di potassio. Questa scelta proviene dalla sua intensa colorazione che semplifica l'operazione compiuta dall'idraulico. Ma l'uso di tale prodotto è senza dubbio la scelta peggiore.

Numerosi casi di corrosione hanno avuto origine da questo trattamento preliminare. Un esperimento di laboratorio durato circa un anno ha dimostrato l'influenza della natura del prodotto sul comportamento a lungo termine di tubazioni di acciaio zincato. Sembra che depositi di ossido di manganese formati all'interno delle tubazioni inducano corrosione.

D'altra parte, sembra che l'uso di acqua ossigenata conduca ad un attacco violento di uno strato di zinco provocando la formazione iniziale di depositi protettivi di prodotti di corrosione dello zinco; in tal caso il comportamento delle tubazioni ne è molto migliorato. L'uso di ipocloriti o di cloro non ha influenza sul comportamento delle tubazioni e non produce nessun effetto sulla corrosione della stessa.

Materiali metallici

Ghise e acciai

L'impiego di ghise nella fornitura di

acqua potabile agli edifici è attualmente limitato alle tubazioni di adduzione; all'interno, le ghise sono usate solo per corpi di pompe e valvole. In questi impieghi il materiale si comporta benissimo, non per via di una intrinseca resistenza all'acqua potabile, ma piuttosto a causa dei mezzi di prevenzione messi in atto.

I regolamenti relativi all'acqua richiedono che le tubazioni di ferro siano rivestite di cemento e che i corpi valvola e pompa siano coperti da verniciature protettive, di solito a base di bitume scelto fra quelli approvati per l'acqua potabile.

Le ghise (del tipo grigio fino al 1950, poi sferoidale o duttile) sono impiegate con successo da oltre 500 anni, e molte linee attuali sono più vecchie di cento anni. Le cause ed i meccanismi della corrosione sono ben noti, le misure preventive ben collaudate ed efficaci: se si aggiunge che nessuno dei materiali impiegati ha effetti sulla salute, le poche probabilità di ruggine esistenti non possono essere ragione per limitare l'uso della ghisa. Semmai, la rigidità, la fragilità, il peso, il costo possono essere fattori di scelte diverse.

Le stesse considerazioni valgono per l'acciaio strutturale, mentre tra gli acciai basso-legati, solo le aggiunte di Cu, Cr e P, studiate in Francia, hanno dato risultati positivi ma discordanti, soprattutto in funzione della composizione dell'acqua; in ultima analisi, è improbabile che i basso-legati, salvo quelli ad alto contenuto di cromo, diano risultati molto migliori dell'acciaio comune in contatto con acque naturali.

Acciai inossidabili

Le *leghe passivabili* sono i materiali più frequentemente impiegati negli impianti che trattano acque minerali e termali; nelle condotte per acque potabili il loro alto prezzo le rende meno frequenti. Il nome generico di acciai inossidabili rappresenta l'origine di molti malintesi e di errori sistematici. Sotto questa denominazione si riconoscono infatti *leghe* dalla composizione variabilissima (dal 12% al

30% di Cromo, Nichel fino al 15 %, oltre a Titanio, Vanadio, ecc.) con strutture ferritiche, austenitiche, martensitiche, duplex (ferritico-austenitiche) con contenuti di Carbonio da 0 a 0,75%, con dimensioni di grano predeterminate, trattamenti termici sofisticati, proprietà magnetiche, elastiche, chimiche ecc. di una complessità pari almeno alle loro diversissime proprietà di impiego. Derivano la loro diffusione soprattutto dalla proprietà di essere... ossidabili, ossia passivabili, ovvero di rivestirsi di uno strato sottilissimo (16-40 Å) di ossido, soprattutto di Cromo, con capacità protettive eccezionali contro l'aggressività ambientale e con grande velocità di ricostruzione in caso di danneggiamento.

Tuttavia, ogni *composizione* ed ogni *struttura* sono progettate in funzione di un particolare impiego e di una specifica resistenza. Una combinazione sbagliata di due parametri può risultare *catastrofica* perché la passivazione può essere compromessa e dar luogo a forme localizzate di corrosione, particolarmente pericolose e caratteristiche di questo tipo di lega. Esse sono:

a) *corrosione interstiziale*: si verifica laddove sia presente una superficie occlusa dalla massa dell'ambiente (guarnizioni, giunti, accostamenti, saldature incomplete, depositi di detriti ecc.); ha un lungo periodo di incubazione ed una crescita spesso velocissima, dovuta a meccanismi autoacceleranti;

b) *corrosione per vaiolatura* (pitting): lo strato passivo viene aggredito localmente da ioni aggressivi (Cl, F, S...) con dissoluzione della lega a velocità spesso elevata, che può provocare perforazioni. Occorre ricordare che, in assenza di passività, la lega inossidabile si corrode molto più velocemente degli acciai comuni. Anche il pitting ha spesso un lungo periodo di incubazione;

c) *corrosione sotto tensione*, *corrosione a fatica*: come accennato in precedenza, la combinazione di *deboli* sollecitazioni e di *blandi* aggressivi può creare una azione sinergica,

tanto subdola quanto spesso imprevedibile senza un'adeguata progettazione. I meccanismi di questi processi sono complicati e dipendono da molti parametri, per cui sono tuttora oggetto di studio.

Per la loro protezione, le leghe passivabili sono favorite da una superficie liscia, omogenea, uniforme, priva di difetti, di inclusioni, di graffi. L'ossigeno e gli ossidanti sono favorevoli. La combinazione ideale è inox-acido nitrico, che favorisce la passivazione se in concentrazione sufficiente.

Nei confronti dell'acqua, gli inossidabili sono normalmente molto ben protetti. Tuttavia, alcune circostanze

corrosione *intergranulare* e quindi tenso-corrosione;

- un'eccessiva velocità del fluido può provocare erosione e cavitazione. L'assenza di ossigeno può rendere difficile la passivazione;

- i trattamenti di sanitizzazione con acido nitrico favoriscono la costruzione degli strati passivi.

Acciaio zincato

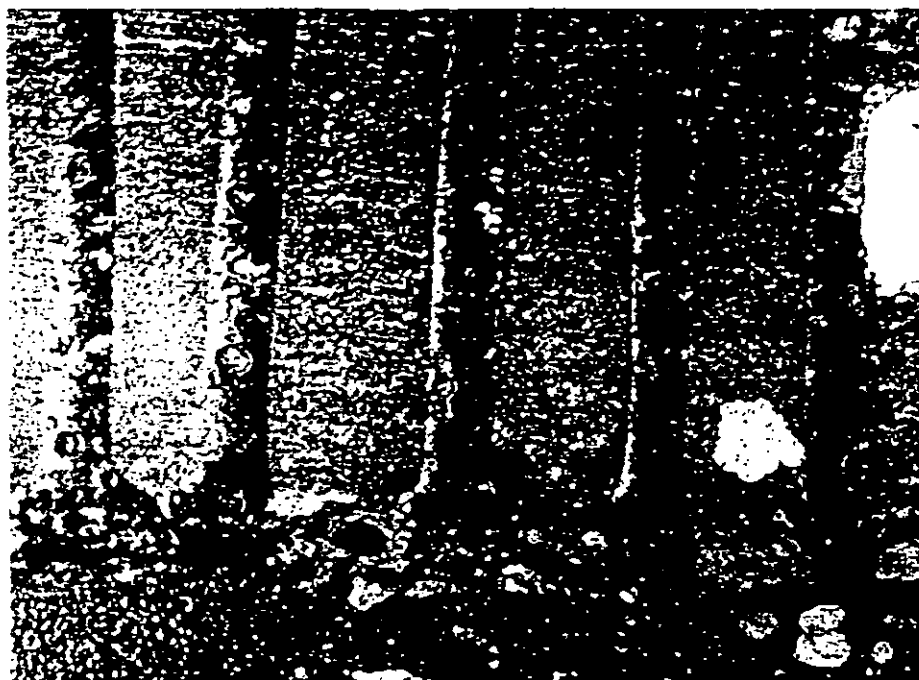
Nei primi stadi la corrosione di tubi e recipienti di acciaio zincato in contatto con acqua potabile è governata dal comportamento alla corrosione dello zinco. La corrosione dello zinco è determinata dalle sue proprietà elet-

dovuto alla formazione di uno strato protettivo di prodotti di corrosione. La corrosione uniforme in acqua fredda è controllata dalla crescita di strati di idrossi-carbonato di zinco e quindi in pratica è governata dalla concentrazione della anidride carbonica nell'acqua. La corrosione non uniforme è provocata da pile di corrosione che si manifestano quando le reazioni di dissoluzione anodica e di riduzione catodica non avvengono nello stesso posto. La formazione di tali pile di corrosione avviene sia per variazioni nel potenziale di elettrodo in zone superficiali diverse, sia per la presenza di strati superficiali con alta conducibilità elettrica o, infine, per la presenza di un elettrolita con conducibilità elevata.

La presenza di ioni rame e di carbonato acido di calcio nell'acqua influenzano la velocità di corrosione localizzata. L'acciaio zincato differisce dallo zinco per la presenza di leghe zinco-ferro formate durante la reazione del ferro con lo zinco fuso. La probabilità di danneggiamento in acqua potabile deve essere discussa in funzione della qualità dei tubi, della qualità dell'acqua e delle condizioni di esercizio. Fintantoché la corrosione avviene sugli strati esterni di zinco puro, il contenuto di anidride carbonica nell'acqua è il solo parametro che influenza la velocità di corrosione: più basso sarà il contenuto di anidride carbonica, e quindi più alto il valore del pH, minore sarà la corrosione dello zinco e minore la probabilità di un danno da corrosione.

Al procedere della corrosione e quando cominciano a corrodersi gli strati di lega contenenti ferro, la formazione di pile di corrosione diventa più probabile a causa di una aumentata conducibilità dei prodotti di corrosione. A questo punto la probabilità di un danno da corrosione aumenta all'aumentare della concentrazione di anioni.

La possibilità di una protezione anticorrosiva dell'acciaio zincato risiede principalmente nella scelta dei materiali di alta qualità nel trattamento dell'acqua e nella limitazione della temperatura dell'acqua. A temperatu-



Una delle tante cause che provocano le perdite: una saldatura anodica rispetto alla matrice che provoca la dissoluzione localizzata del cordone di saldatura per effetto galvanico. Si noti anche l'inefficienza del rivestimento.

possono essere deleterie. Ad esempio:

- le incrostazioni dovute a sali precipitati possono creare interstizi in cui l'ossigeno entra difficilmente, ed in presenza di anche modiche quantità di ioni aggressivi, si può avere *corrosione interstiziale*. Anche giunti non ben sigillati o saldature incomplete possono essere all'origine del fenomeno. Gli *alogenuri* possono provocare *pitting*. Trattamenti termici inadeguati (saldature) in acciai non idonei (contenuto in carbonio?) possono provocare

trochimiche e cioè dal fatto che esso può essere considerato elettrochimicamente come un elettrodo misto, sulla superficie del quale avvengono almeno due reazioni elettrochimiche: la dissoluzione anodica dello zinco e la riduzione catodica di un ossidante che, sulla base della posizione dello zinco nella serie galvanica, può essere sia lo sviluppo di idrogeno che la riduzione dell'ossigeno.

Nonostante il suo carattere molto attivo, in pratica lo zinco agisce in modo relativamente lento. Ciò è

PROCESSI

CORROSIONE ED ASPETTI RELATIVI AI MATERIALI

re superiori a 60°C avvengono variazioni nel carattere semiconduttore degli ossidi di Zinco, che possono provocare una inversione di polarità nella coppia Fe-Zn; le conseguenze possono essere spinte fino alla perforazione.

Rame

La produzione mondiale annua di tubazioni in rame per l'acqua è di circa 500 mila tonnellate, equivalenti a 1,25 miliardi di metri. La ragione per questa enorme quantità di tubature in rame è facilmente spiegabile se si considera l'eccellente resistenza alla corrosione, la facilità di fabbricazione e di installazione e il contributo alla salute ed al mantenimento di un'acqua integra. Inoltre il rame è considerato ecologicamente interessante grazie alla sua possibilità di essere riciclato al 100%. Sono rare le occasioni di difettività da corrosione nei tubi di rame per acqua, ed in generale essi provengono da difetti di fabbricazione dovuti a scarsa consapevolezza dei rischi, in particolare la presenza di carbonio localizzato in punti determinati può provocare la formazione di pile di corrosione e perforazione. In acqua potabile il rame è praticamente inerte.

Il più semplice e caratteristico tipo di attacco è quello dovuto ad acque dolci con pH basso. La presenza di ossigeno nell'acqua in ambiente acido permette un attacco generalizzato del rame. Questa situazione può essere moderata trattando l'acqua fino a portarla entro i limiti accettabili dalla Comunità Europea, per esempio, facendola passare attraverso un filtro di rocce dolomitiche.

Le caratteristiche meccaniche del rame fanno sì che questo metallo sia suscettibile di corrosione erosione, di corrosione per cavitazione e in ogni

caso di quelle forme di attacco meccanico-chimico che sono correlate alle proprietà meccaniche del metallo ed alla assenza o eccessiva sottigliezza di strati protettivi superficiali assieme a velocità di flusso elevate e variazioni incontrollate di portata.

In conclusione, benché nessun materiale sia assolutamente perfetto per qualsiasi applicazione, tuttavia il rame è l'unico materiale per tubazioni per acqua potabile che sia relativamente nobile, con una alta resistenza alla corrosione e che possieda anche la proprietà di inibire la proliferazione di alcuni batteri che possono causare problemi di qualità dell'acqua.

L'attacco localizzato ed anche generalizzato, che può avvenire in acque troppo dolci ed acide, può essere minimizzato mantenendo l'acqua entro limiti normalizzati da regole comunitarie.

Piombo

Questo metallo dovrebbe essere giustamente assente da ogni sistema di approvvigionamento d'acqua, purtroppo in molti edifici antichi o vecchi, all'interno sono ancora presenti tubazioni di piccolo diametro o parti dell'impianto idrosanitario contenenti piombo. La parola piombista ci dice quanto popolare fosse il piombo, fino a pochi anni fa, nella circolazione dell'acqua potabile.

La contaminazione da piombo proviene, evidentemente, dalla solubilità del piombo, per effetto della sua ossidazione a carbonato di piombo. Questo composto è più solubile a temperature elevate.

Altre contaminazioni da piombo possono intervenire da prodotti di saldatura o da giunzioni con ottone o da vasche di raccolta d'acqua, saldate con leghe di piombo. Attualmente, la quantità massima consentita di piombo nell'acqua è di 50 microgrammi di piombo per litro; la tendenza è di portare questo valore fino a 10 microgrammi di piombo per litro. Ovviamente per raggiungere questo livello sarà necessario rimuovere tutte le sorgenti di piombo, specialmente

dalle installazioni nelle abitazioni e da ogni altro improprio impiego di questo materiale.

Cemento

Il cemento è uno dei materiali più idonei per il contenimento e la distribuzione di acqua potabile in grande quantità. Tubi di ampio diametro sono prodotti, in modo più economico, in cemento e se ne ottiene una vita utile lunga e senza problemi. Il cemento è circa dieci volte più forte, in compressione che in tensione e perciò è necessario usare cemento armato, per contenere lo sforzo. Per diametri inferiori è sufficiente un rinforzo di fibre. Un tempo si usava amianto, ma ora possono essere usati materiali alternativi.

I materiali basati sul cemento Portland sono molto alcalini e perciò sono ideali, per la protezione del ferro e dell'acciaio dalla corrosione. Tuttavia la stessa proprietà può provocare reazioni inaccettabili negli alcali-aggregati o su fibre di vetro. La alcalinità del cemento può provocare variazioni chimiche nell'acqua trasportata, così come acque acide o troppo dolci possono diminuire le prestazioni dei materiali cementizi e dei calcestruzzi.

L'impiego di materiali a bassa permeabilità e con scarso contenuto di idrossido di calcio e di alluminati tricalcici, può migliorare le prestazioni; in ogni caso, molti dei problemi collegati con l'uso del cemento possono essere minimizzati con una accurata progettazione del mix-design.

Materie plastiche

L'impiego di materie plastiche per acqua potabile, sia come tubazioni che come "linings" è diventato importante negli anni sessanta.

Fra i primi impieghi citiamo il PVC non plasticizzato e il polietilene a bassa densità; seguì poi il politene a media densità (MDPE), mentre le plastiche rinforzate con vetro (vetro resine), il poli-vinilidene-fluoruro (PVDF), il poli-butilene (PB) ed altre sono quasi inesistenti. Oggi, il PE ad alta densità (HD) sovrasta il PVC in tutti i diametri, mentre prendono piede il polipropilene ed

PROCESSI

i policarbonati.

I materiali termoplastici, ed in particolare il polipropilene, possiedono numerosi ipotetici vantaggi per il controllo della corrosione:

- 1) resistenza a composti chimici ed a solventi;
- 2) riduzione del peso;
- 3) flessibilità di progettazione;
- 4) prestazioni e proprietà specifiche e facilmente assoggettabili a impieghi più diversi;
- 5) riduzione dei costi.

Le plastiche non si corrodono nel senso letterale del termine, ma alcuni polimeri possono subire degrado, del tipo idrolitico o ossidativo, particolarmente ad alte temperature, provocando perdita di resistenza. Un rischio connesso con reazioni ossidative, con assorbimento di specie presenti nell'acqua o la lisciviazione di componenti la plastica stessa è costituito dalla combinazione con tensioni o deformazioni applicate, che possono provocare un fenomeno simile allo stress corrosion cracking delle leghe metalliche. E' raro che questi fenomeni avvengano in condizioni normali di esercizio, ed in ogni caso è possibile minimizzare i rischi con una accurata progettazione e numerosi test.

L'attraversamento di terreni contaminati può essere pericoloso per la possibilità di permeazione di qualche sostanza attraverso le pareti delle tubazioni.

In conclusione, nessun ambiente, nemmeno l'acqua, può definirsi non corrosivo, se la giusta combinazione di materiali e delle loro qualità, non è stata convenientemente progettata. D'altra parte, il progetto mirato all'affidabilità è caro, mentre il luogo comune dice "l'acqua è gratuita".

L'acqua è cara, l'acqua deve essere valorizzata e mantenuta integra. L'acqua è riciclabile solo a condizione di non introdurre componenti solubili non facilmente estraibili e comunque inquinanti.

Solo la consapevolezza di quanto sia delicato e di vitale importanza l'equilibrio dell'ecosistema può consentire adeguati investimenti per la

conservazione della qualità del suo più sensibile componente: l'acqua. Conservazione è il contrario di degrado: ne consegue che l'affidabilità dei materiali per il contenimento, il trasporto e la distribuzione dell'acqua è un problema di primaria importanza per la conservazione di un ambiente vivibile.

L'acqua, in una società organizzata, non deve essere considerata come una materia prima, un minerale, o un bene liberamente disponibile (come l'aria, inquinamento escluso, o l'irraggiamento solare, buchi nell'ozono permettendo).

L'acqua rappresenta il prodotto fini-



Il rivestimento interno quasi inesistente permette anche la corrosione della tubazione in acciaio con formazione di tubercoli.

to di una serie di processi tecnologici che coinvolgono attività multidisciplinari ed è sottoposto (di diritto se non di fatto) a rigide normative ed a controlli rigorosi.

A fronte di tali premesse, il coinvolgimento politico, lo stimolo all'innovazione o almeno all'ottimizzazione e in ultima istanza, i finanziamenti, sono inadeguati così come lo è la sensibilità del pubblico al problema (sprechi).

E' necessario un richiamo concreto, autorevole e largamente condiviso alla necessità di intervenire sui materiali, sulle tecnologie, sulla divulgazione delle conoscenze, al fine di aumentare

il rendimento e minimizzare sia gli sprechi che i rifiuti nel complicato processo di approvvigionamento, trattamento, adduzione, distribuzione e recupero dell'acqua.

Questo scritto, inserito in una Rivista di ampia divulgazione dopo essere stato presentato ad un vasto consesso di specialisti (7) vuole essere un invito a quanti (enti pubblici economici, operatori tecnici, amministratori, aziende municipalizzate, ricercatori, costruttori, distributori ed applicatori di condotte per acqua potabile) sono coinvolti in questa che viene definita, globalmente, "emergenza acqua" (6): occorre creare un pool operativo che proponga, con uno sforzo di investimenti e di conoscenze adeguato, una ricerca mirata alla ottimizzazione, all'innovazione, alla qualità ed all'affidabilità nella distribuzione dell'acqua potabile.

Lo scrivente è disponibile ad agire, nel limite delle possibilità, da punto di riferimento per le (eventuali e benvenute) proposte.

Prof. Pier Luigi Bonora - Laboratorio di Elettrochimica, Dipartimento di Ingegneria dei Materiali, Università di Trento.

Bibliografia:

1) P.L. Bonora e L. Ghirardelli: *Corrosion of a welded steel pipe for a potable water supply*. In: *Corrosion and related aspects of Materials for potable water supplies* - Edited by P. McIntire and A.D. Mercer - The Institute of Materials, London (UK) 1993.

2) Bianchi G., Mazza F.: *Corrosione e protezione di metalli*. Masson Italia, Milano, 1989.

3) Fontana M.: *Corrosion Engineering*. McGraw Hill - N.Y.

4) Threlkewey K.R., Chamberlain J.: *Corrosion*, ed. Longmans.

5) V.K. Shreir L.L.: *Corrosion*, Voll. 1, 2, Newnes Butterworths, U.K.

6) Franco DeFrancesco: *Aqua - Temi ed. Trento* (1991).

7) *Atti della Giornata di Studio "Le reti di acquedotto: problemi di corrosione, protezione e risanamento"* Trento, Facoltà di Ingegneria, 25/2/94 - APCE e Università di Trento.