

biologia ambientale

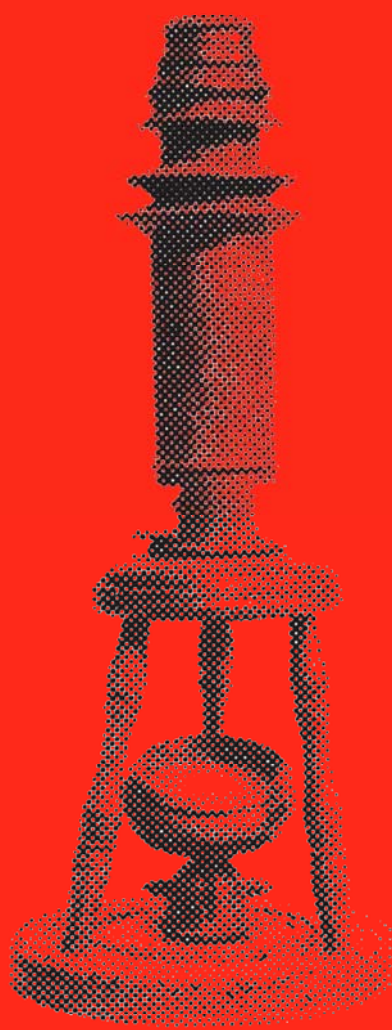
6

novembre
dicembre
1994

BOLLETTINO C.I.S.B.A.

Spediz. abbon. post. 50% Reggio Emilia. Tassa pagata - Taxe perçue

Bimestrale, anno VIII, n. 6, novembre-dicembre 1994.



numero speciale:
BIOCORROSIONE

SOMMARIO

<i>EDITORIALE</i>	3
Il fenomeno della corrosione dei materiali metallici utilizzati nelle reti acquedottistiche <i>di G. Buzzanca, G.M. Quaglia, L. Torri</i>	5
La formazione di biofilm e biofouling <i>di L. Volterra</i>	11
I batteri implicati nei fenomeni di corrosione <i>di N. Fontani e M. Pedroni</i>	13
Macroinvertebrati colonizzanti il biofilm <i>di S. Bernabei e L. Volterra</i>	22
Particolato abiotico e microfite rinvenibili nelle reti acquedottistiche <i>di L. Mancini e L. Volterra</i>	30
Metodi di prevenzione e contenimento di biofilm e biofouling <i>di L. Volterra</i>	33



biologia ambientale

Bollettino C.I.S.B.A. n. 6/1994

Autorizzazione del Tribunale di
Reggio Emilia n. 837 del 14 maggio 1993

proprietario

Paola Manzini

(Presidente del Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale)

direttore responsabile

Rossella Azzoni

REDAZIONE

Rossella Azzoni	responsabile di redazione
Giuseppe Sansoni	responsabile grafico
Roberto Spaggiari	responsabile di segreteria

Hanno collaborato a questo numero:

Giovanni Buzzanca
Gian Maria Quaglia
Lucia Torri
Laura Volterra
Nadia Fontani
Manuela Pedroni
Serena Bernabei
Laura Mancini

Numero chiuso in redazione il 30/10/1994

Il C.I.S.B.A. - Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale si propone di:

- divenire un punto di riferimento nazionale per la formazione e l'informazione sui temi di biologia ambientale, fornendo agli operatori pubblici uno strumento di documentazione, di aggiornamento e di collegamento con interlocutori qualificati
- favorire il collegamento fra il mondo della ricerca e quello applicativo, promuovendo i rapporti tecnico-scientifici con i Ministeri, il CNR, l'Università ed altri organismi pubblici e privati interessati allo studio ed alla gestione dell'ambiente
- orientare le linee di ricerca degli Istituti Scientifici del Paese e la didattica universitaria, facendo della biologia ambientale un tema di interesse nazionale
- favorire il recepimento dei principi e dei metodi della sorveglianza ecologica nelle normative regionali e nazionale concernenti la tutela ambientale.

Per iscriversi al C.I.S.B.A. o per informazioni scrivere al:
Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale,
via Amendola 2, 42100 Reggio Emilia
o telefonare al Segretario:
Roberto Spaggiari: 0522/295460; fax 0522/295446

Quote annuali di iscrizione al Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale: socio ordinario: £ 70.000; socio collaboratore £ 50.000; socio sostenitore £ 600.000.
conto corrente postale n. 10833424 intestato a: CISBA, RE

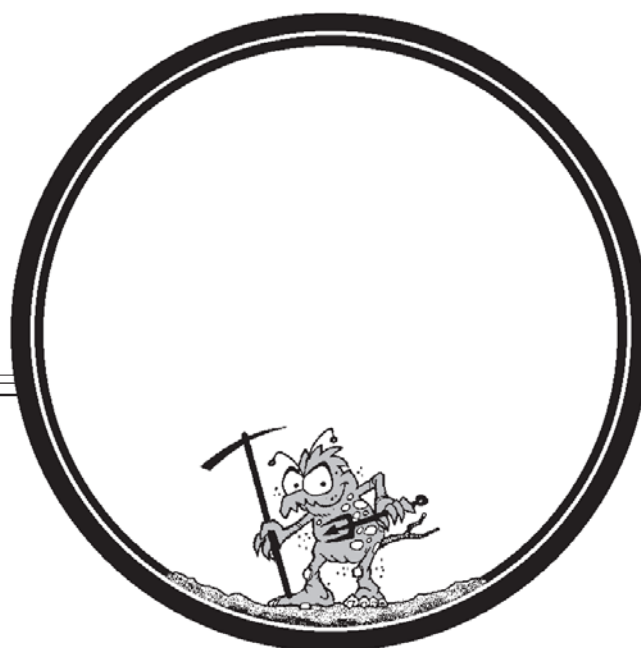
I soci ricevono il bollettino *Biologia Ambientale* e vengono tempestivamente informati sui corsi di formazione e sulle altre iniziative del C.I.S.B.A.

Gli articoli originali e altri contributi vanno inviati alla Redazione:
Rossella Azzoni Gastaldi, via Cola di Rienzo, 26 - 20144 Milano.

I dattiloscritti, compreso il materiale illustrativo, saranno sottoposti a revisori per l'approvazione e non verranno restituiti, salvo specifica richiesta dell'Autore all'atto dell'invio del materiale.

Le opinioni espresse dagli Autori negli articoli firmati non rispecchiano necessariamente le posizioni del C.I.S.B.A.

EDITORIALE



Perché dedicare un numero speciale alla biocorrosione?

Perché il nostro Centro Studi condivide proposte ed aspettative dell'Azienda Gas Acqua Consorziale di Reggio Emilia e dell'Azienda Servizi Municipali di Mantova: offrire a dirigenti e tecnici di Aziende pubbliche e private un quadro aggiornato delle attuali possibilità di controllo dell'efficienza delle reti idriche.

Sul pieghevole che illustra la giornata di studio dedicata agli aspetti biologici nella corrosione delle reti di distribuzione di acqua potabile, da questi Enti voluta ed organizzata, si legge: «Interrogarsi e confrontarsi sui fenomeni di biocorrosione delle tubazioni di distribuzione dell'acqua potabile significa non solo analizzare un problema che investe praticamente tutte le regioni del Paese e le Aziende Acquedottistiche che si occupano della risorsa idrica, ma significa anche indicare quali sistemi e procedure sono attuabili per comprenderne le cause e minimizzare gli effetti che tali fenomeni producono sulla qualità dell'acqua erogata.»

Ma non solo.

Per il Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale investire sulla tematica della biocorrosione significa ampliare i propri orizzonti conoscitivi, cioè promuovere l'obiettivo statutario che concerne lo sviluppo e

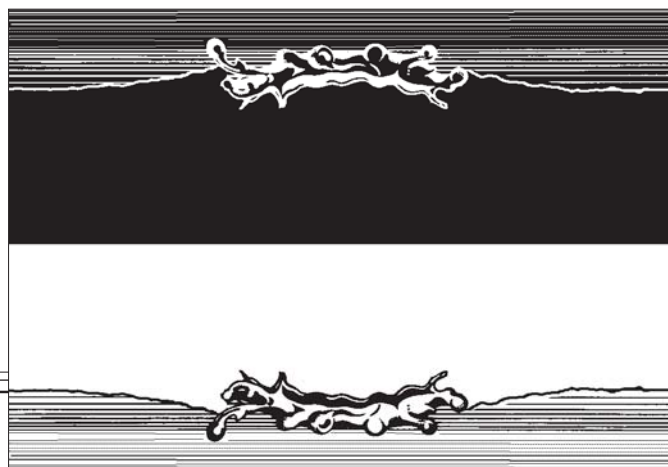
la diffusione degli studi di biologia ambientale e delle loro applicazioni.

*Sebbene l'attività di formazione e informazione del C.I.S.B.A. si sia sviluppata in questi anni su numerosi temi – fra i quali basti citare il mappaggio biologico dei corsi d'acqua attraverso l'analisi delle comunità dei macroinvertebrati bentonici, l'analisi della microfauna per il controllo dell'efficienza degli impianti biologici di depurazione, l'utilizzazione di *Daphnia magna* in tossicologia ambientale, l'eutrofizzazione delle acque marine e costiere, l'ecologia del suolo e l'uso di indicatori biologici di inquinamento, l'uso di licheni nel biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico, il controllo e la gestione del bulking filamentoso e l'utilizzazione di batteri bioluminescenti in ecotossicologia – l'interesse dell'Associazione raramente si è rivolto a matrici di uso umano diretto.*

*Un primo tentativo per colmare questo vuoto è non solo la partecipazione all'organizzazione della giornata di studio, ma anche la pubblicazione di questo numero monografico di *Biologia Ambientale* dedicato alle problematiche connesse con la formazione ed il contenimento di biofilm e biofouling, al riconoscimento dei batteri implicati nei fenomeni di corrosione ed alla sistematica degli invertebrati e delle microfite rinvenibili nelle reti acquedottistiche.*

Obiettivo a breve termine del Centro Studi è certamente quello di dibattere le conoscenze attuali e di indicare gli standard operativi di controllo e gli interventi mitigativi per migliorare la qualità della risorsa idropotabile in relazione al problema della biocorrosione, ma l'obiettivo di grande respiro è quello di sviluppare un'azione che promuova la crescita in tutti i settori della società di una coscienza più precisa dei problemi che il nostro tempo pone al ciclo dell'acqua.

BIOCORROSIONE



IL FENOMENO DELLA CORROSIONE DEI MATERIALI METALLICI UTILIZZATI NELLE RETI ACQUEDOTTISTICHE

Giovanni Buzzanca^(*), Gian Maria Quaglia^(*), Lucia Torri^(*)

I sistemi di distribuzione dell'acqua potabile comprendono un'ampia gamma di materiali (acciaio, cemento, rame, PVC, ecc.), ma in questo lavoro l'attenzione sarà focalizzata sull'acciaio al carbonio, ferro zincato e rame in quanto questi materiali risultano i più comunemente utilizzati per la realizzazione delle condotte idriche e quelli maggiormente implicati nei processi di corrosione.

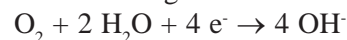
ACCIAIO AL CARBONIO

La corrosione delle tubazioni in acciaio nei sistemi di distribuzione di acqua potabile è un fenomeno complesso, influenzato da molteplici parametri interagenti tra di loro (Tab. 1). L'effetto del singolo parametro può risultare variabile a seconda della situazione locale e può essere di volta in volta benefico oppure può portare all'instaurarsi di una severa corrosione. La corrosione dell'acciaio in acqua è essen-

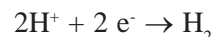
zialmente di tipo elettrochimico ed è dovuta all'ossidazione del ferro secondo la reazione:



Perché tale reazione di ossidazione possa avvenire occorre che contemporaneamente una reazione di riduzione consumi gli elettroni prodotti (detta anche reazione catodica). In generale tale reazione consiste o nella riduzione dell'ossigeno disciolto nell'acqua:



oppure nella riduzione dello ione idrogeno:



Le due reazioni di ossidazione e di riduzione devono prodursi in contemporanea con la stessa velocità, che risulterà determinata dalla reazione più lenta, in generale quella di riduzione. I parametri principali che influenzano la velocità di corrosione sono legati alla qualità dell'acqua e sono: composizione chimica, pH, conducibilità, gas disciolti, temperatura e velocità di flusso. Questi parametri saranno di seguito discussi singolarmente, tuttavia bisogna sempre considerare la loro interdipendenza.

^(*) Cise - Milano

Ossigeno disciolto

L'ossigeno svolge un ruolo chiave nella corrosione del ferro in acque naturali, ma i suoi effetti possono essere in antitesi tra di loro e dipendenti da altri fattori ambientali. Ad esempio, in acque con valore di pH prossimi alla neutralità ed a temperatura ambiente l'ossigeno viene consumato dalla reazione di corrosione del ferro; d'altro canto la presenza di ossigeno promuove la formazione di ossidi semiprotettivi sul metallo e più elevata è la concentrazione di ossigeno più il film di ossido può risultare protettivo. La presenza di ossigeno appare inoltre necessaria per la formazione, sulla superficie delle tubazioni, di depositi di carbonato di calcio; tuttavia una volta che questi depositi si sono formati l'ossigeno è uno dei principali promotori di forme di corrosione localizzata sotto deposito.

La velocità di flusso dell'acqua nelle tubazioni determina l'apporto di ossigeno sulla superficie del metallo e può dare origine a differenti comportamenti dal punto di vista corrosivo. Per basse concentrazioni di ossigeno e velocità dell'acqua fino ad 1 m/s un aumento della velocità stessa comporta un aumento della velocità di corrosione, dato il maggior apporto di ossigeno sulla superficie metallica. Per velocità superiori ad 1 m/s la concentrazione di ossigeno sulla superficie metallica può diventare sufficientemente elevata da provocare la passivazione del metallo. Velocità ancora più elevate, superiori a 5 m/s possono accelerare fortemente la corrosione a causa della distruzione dello strato passivante e del veloce trasporto di ossigeno sulla superficie dovuto al flusso turbolento. All'estremo opposto condizioni di ristagno in generale favoriscono l'innesco di forme di corrosione localizzata.

Sali disciolti

I principali ioni presenti nelle acque naturali sono: calcio, magnesio, sodio, bicarbonato, solfato, cloruro e nitrato.

I cloruri sono le specie ioniche più deleterie, dal punto di vista corrosionistico, in quanto riducono l'efficacia dello strato protettivo di ossidi, promuovendo l'insorgere di corrosione localizzata. Il tenore limite di cloruri al di sopra del quale si ha la formazione di corrosione localizzata sul ferro è ritenuto essere di circa 10 ppm.

I nitrati hanno un effetto molto simile a quello dei cloruri, ma generalmente sono presenti in concentrazioni estremamente modeste.

Il ruolo dei solfati è analogo a quello dei cloruri, anche se la concentrazione necessaria per dare origine a fenomeni di corrosione localizzata è molto più elevata. I solfati svolgono inoltre un'attività peculiare per quanto riguarda i fenomeni di corrosione batterica in condizioni anaerobiche. Il ruolo esercitato dai batteri nella corrosione dei metalli è dovuto alla attività chimica associata alla loro crescita e riproduzione. In generale gli effetti corrosivi dei batteri sui metalli sono attribuibili a: azione diretta dei prodotti del loro metabolismo (acido solforico, solfuri inorganici, ecc.); depolarizzazione catodica dovuta alla crescita anaerobica; variazioni locali di pH e di concentrazione salina ed infine rimozione di inibitori e di rivestimenti protettivi.

CO₂ disciolta

L'effetto della CO₂ disciolta dipende essenzialmente dal pH della soluzione, dato che esso determina le percentuali relative di CO₂ idrata, bicarbonati e carbonati.

Calcio

Nelle acque naturali l'acciaio al carbonio viene protetto dalla corrosione in seguito alla formazione di un film più o meno spesso di carbonato di calcio sulla superficie. Presumibilmente questo film funge da barriera di diffusione dell'ossigeno verso la superficie metallica. Vari indici sono stati proposti per valutare la tendenza o meno del carbonato di calcio di incrostare le condotte.

Temperatura

Variazioni di temperatura possono influenzare tutti gli equilibri chimici delle specie acquose, come anche la velocità di diffusione dell'ossigeno, la velocità di deposizione dei prodotti incrostanti e la stessa velocità di corrosione. In sistemi relativamente semplici in cui la corrosione del ferro è controllata solo dalla diffusione dell'ossigeno, la velocità di corrosione è proporzionale all'aumento della temperatura in quanto questa incrementa la velocità di diffusione dell'ossigeno; la velocità di corrosione raddoppia ogni 30 °C fino a circa 80 °C. Al di sopra di tale valore si ha una

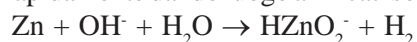
rapida diminuzione dovuta alla diminuita solubilità dell'ossigeno in acqua.

FERRO ZINCATO

Lo zinco è utilizzato come rivestimento dell'acciaio non perché sia un materiale particolarmente resistente alla corrosione, ma perché lo zinco si corrode preferenzialmente e protegge l'acciaio sottostante, funzionando quindi come un anodo sacrificale.

Qualità dell'acqua

In ambienti acquosi a temperatura ambiente la velocità di corrosione delle condutture zincate raggiunge un minimo per valori di pH compresi tra 7 e 12, intervallo in cui la principale reazione catodica è costituita dalla riduzione dell'ossigeno. Di conseguenza la velocità di corrosione dello zinco aumenta all'aumentare sia della concentrazione dell'ossigeno disciolto in acqua che della CO_2 . In ambienti acidi o fortemente alcalini l'attacco corrosivo è dovuto allo sviluppo di idrogeno. Per valori di pH superiori a 12,5 lo zinco reagisce rapidamente dando luogo a zincati solubili:



L'aggiunta di cloro, nelle concentrazioni normalmente utilizzate per la potabilizzazione dell'acqua, non influenza la velocità di corrosione dello zinco. Bisogna segnalare che lo zinco presenta una inversione di polarità rispetto al ferro, in acque aerate, a circa 60 °C. Per tale valore di temperatura questo materiale perde le sue caratteristiche di anodo sacrificiale e può provocare la formazione di corrosione localizzata sull'acciaio sottostante.

RAME

Il rame è un materiale ampiamente utilizzato nelle linee di distribuzione dell'acqua potabile in quanto è generalmente più resistente dell'acciaio alla corrosione. Tuttavia, in alcuni casi, può dare origine a forme di corrosione che possono causare problemi per quanto riguarda la qualità dell'acqua distribuita (piccole concentrazioni di rame possono causare la formazione di macchie blu o verdi-blu sulla porcellana, concentrazioni maggiori di 1-1,5 ppm conferiscono all'acqua un sapore amaro, ecc.).

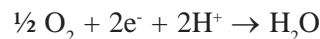
Ossigeno

La corrosione in acqua è dovuta essenzialmente

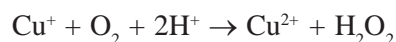
all'ossidazione del rame secondo la reazione:



e di riduzione dell'ossigeno disciolto in acqua secondo la reazione:



Anche in ambiente acido, a differenza di quanto avviene per il ferro, l'ossigeno interviene nella corrosione del rame attraverso lo ione intermedio Cu^+ :



Risulta quindi evidente come in assenza di ossigeno la corrosione del rame sia termodinamicamente impossibile.

CO_2

La CO_2 presente nelle acque naturali è stata molto spesso considerata come un fattore fondamentale nel processo di corrosione del rame. Il ruolo che svolge la CO_2 consiste nel dissolvere il film protettivo di ossido di rame che si forma sulla superficie interna delle tubazioni. La quantità di CO_2 necessaria per provocare tale dissoluzione dipende da molti fattori, tuttavia una "regola pratica" considera come soglia di allarme, per quanto riguarda la corrosione del rame una concentrazione pari a circa 10 ppm di CO_2 .

INDICI DI CORROSIONE

Qui di seguito verrà presentata una breve rassegna dei principali indici utilizzati per valutare la corrosività od il potere incrostante delle acque naturali. Questi indici sono spesso utilizzati come guida, ma non devono essere usati indiscriminatamente, in quanto non forniscono una misura quantitativa della corrosione o della formazione di carbonato di calcio.

Indice di Langelier

L'indice di Langelier, o di saturazione, (SI) indica la tendenza di un'acqua a formare o meno depositi di carbonato di calcio. L'indice è ricavato dal prodotto di solubilità del carbonato di calcio, dalla costante di dissociazione dell'acqua e dalla seconda costante di dissociazione dell'acido carbonico. Nel campo di applicazione (pH compreso tra 6,5 e 9,5) il pH di saturazione (pH_s) è dato da:

$$\text{pH}_s = (\text{pk}_2 - \text{pk}_s) + \text{pCa} + \text{pAlk}$$

dove:

$$\text{pk} = \log(1/x)$$

Ca = concentrazione delle ione calcio in moli/litro
 Alk = alcalinità totale in equivalenti/litro
 K_2 = seconda costante di dissociazione dell' H_2CO_3 corretta in funzione della forza ionica e della temperatura
 K_s = prodotto di solubilità del carbonato di calcio corretto in funzione della forza ionica e della temperatura

Comunemente il pH_s viene determinato nel modo seguente:

$$pH_s = A + B - \log [Ca] - \log [Alk]$$

dove A e B sono due costanti che tengono già conto dell'influenza rispettivamente della temperatura e della forza ionica.

L'indice di Langelier (SI) è dato dalla differenza tra i pH dell'acqua ed il corrispondente pH di saturazione:

$$SI = pH - pH_s$$

Un valore negativo dell'indice di Langelier indica la tendenza dell'acqua a sciogliere i depositi di carbonato di calcio e quindi una sua possibile azione corrosiva; un valore positivo indica invece la tendenza alla formazione di depositi di carbonato di calcio e quindi la non corrosività dell'acqua.

Generalmente tale indice viene utilizzato per acque con moderata od elevata alcalinità e durezza e non può essere utilizzato per acque dolci o contenenti specie ioniche quali cloruri e solfati che possono influenzare la condizioni di equilibrio del carbonato di calcio.

Indice di Ryznar

L'indice di Ryznar (RI) è definito come:

$$RI = 2 pH_s - pH$$

dove pH_s è del tutto analogo a quanto utilizzato nel caso dell'indice di Langelier. Un valore dell'indice di Ryznar uguale o superiore a 7 indica un'acqua aggressiva, mentre un valore inferiore a 6 indica la tendenza a formare depositi di carbonato di calcio. L'indice di Ryznar può essere utilizzato sugli stessi tipi di acque consigliati per l'indice di Langelier.

Indice di Larson

L'indice di Larson (LI) tiene conto dell'aggressività specifica di singoli ioni ed è espresso come:

$$LI = \frac{Cl + SO_4}{Alk}$$

dove Cl, SO_4 ed Alk sono rispettivamente le con-

centrazioni di cloruri e di solfati e l'alcalinità totale espresse come mg/L. Quando l'indice di Larson è maggiore di 0,5 l'acqua può essere considerata corrosiva.

Indice di Riddick

L'indice di Riddick (RCI) è basato su una formula empirica che tiene conto di numerosi fattori che possono influenzare la corrosione quali: l'ossigeno disciolto, il tenore di cloruri, di nitrati e la durezza:

$$RCI = \frac{75}{Alk} [CO_2 + \frac{1}{2} (Durezza - Alk) + Cl + 2N] \frac{10}{SiO_2} \frac{D.O. + 2}{Sat. D.O.}$$

dove:

CO_2 : espressa come mg/L $CaCO_3$

Durezza: espressa come mg/L $CaCO_3$

Cl: concentrazione di ioni cloruri espressi in mg/L

N: concentrazione di ioni nitrati espressi in mg/L

D.O.: ossigeno disciolto espresso in mg/L

Sat. D.O. : ossigeno saturo espresso in mg/L

Valori dell'indice di Riddick compresi tra 0 e 25 indicano un'acqua non corrosiva; valori compresi tra 26 e 50 indicano un'acqua moderatamente corrosiva; valori compresi tra 51 e 75 indicano un'acqua corrosiva; valori compresi tra 76 e 100 indicano un'acqua veramente corrosiva; valori superiori a 100 indicano un'acqua estremamente corrosiva. Tale indice viene normalmente utilizzato per le acque dolci, mentre non può essere utilizzato nel caso di acque dure.

Indice di aggressività

L'indice di aggressività (AI) è stato formulato per determinare la qualità dell'acqua che può essere trasportata nei tubi di cemento-amianto:

$$AI = pH + \log (A \cdot H)$$

dove:

A: alcalinità totale espressa come mg/L $CaCO_3$

H: durezza espressa come mg/L $CaCO_3$

Valori dell'indice di aggressività maggiori di 12 indicano un'acqua non aggressiva; valori compresi tra 10 e 12 indicano un'acqua moderatamente aggressiva; valori minori di 10 indicano un'acqua fortemente aggressiva.

ANALISI DEL FENOMENO CORROSIVO

Qui di seguito verranno presentati alcuni suggerimenti

menti operativi per poter eseguire una adeguata analisi del fenomeno corrosivo in atto: i suggerimenti forniti sono di carattere generale e possono essere utilizzati per analizzare qualsiasi caso di corrosione.

Per una corretta analisi delle cause di corrosione è necessaria la documentazione dei dati concernenti la qualità dell'acqua distribuita sia alla sorgente sia nel punto in cui si è verificato il problema di corrosione. Vanno inoltre documentati i trattamenti chimico-fisici a cui l'acqua è soggetta; le condizioni fluidodinamiche della rete (ad esempio vanno prese in considerazione le possibili zone in cui si possono verificare ristagni d'acqua); la distanza del punto di prelievo dagli impianti di clorazione; il materiale della tubazione; l'anno di posa della tubazione stessa.

Il prelievo dello spezzone di tubazione interessato al fenomeno di corrosione deve essere effettuato in modo da non danneggiare la superficie durante la fase di taglio, per cui deve essere eseguito ad almeno 10 cm circa dal punto di interesse. Il campione, dopo il prelievo, deve essere mantenuto se possibile umido, in modo da non alterare le condizioni superficiali fino all'arrivo in laboratorio per le successive analisi e soprattutto bisogna evitare di toccare con le mani nude le superfici da sottoporre ad analisi in modo da evitare inquinamenti delle superfici stesse. Un'accortezza da prendersi al momento del prelievo è di segnare sulla superficie esterna della tubazione la generatrice inferiore e quella superiore. Infatti generalmente i fenomeni di corrosione sono localizzati per lo più lungo la generatrice inferiore.

In laboratorio il primo taglio da eseguire consiste nell'aprire a metà la tubazione; il taglio va eseguito a secco in modo da non alterare le superfici da esaminare. Una volta tagliato lo spezzone va sottoposto ad un accurato esame visivo in modo da stabilire, prima di tutto, se il fenomeno corrosivo sia partito dall'interno della tubazione (imputabile alla qualità dell'acqua) o dall'esterno.

Se la corrosione ha avuto origine dall'esterno della tubazione bisogna verificare lo stato del rivestimento esterno e la presenza o meno in prossimità della tubazione di linee ferroviarie.

Nel caso in cui la corrosione abbia invece avuto origine dall'interno della tubazione l'esame visivo consente di determinare se la corrosione è di tipo generalizzato (la riduzione di spessore è uniforme su tutta la

Tab. 1
Principali parametri chimico-fisici che influenzano la corrosione

Parametri dell'acqua	Effetto corrosivo
pH	Scarso effetto per valori compresi tra 4 e 10 eccetto nel caso di corrosione localizzata che può incrementare nel range 6-9. Gli effetti del pH sono funzione della velocità del fluido e del tempo
Durezza	In presenza di sufficiente alcalinità il calcio inibisce la corrosione
Alcalinità	Maggiore è l'alcalinità, minore è l'aggressività dell'acqua. La dissoluzione anodica del ferro è accelerata dai bicarbonati (HCO_3^-)
Ossigeno disciolto	La corrosione aumenta con l'aumento della concentrazione di ossigeno, ma ad alte concentrazioni di ossigeno si ha la formazione di un film maggiormente protettivo
Anidride carboniosa	Aggressiva nei confronti del ferro
Total dissolved species (TDS)	La presenza di cloruri e di solfati aumenta la corrosività e favorisce la formazione di depositi poco protettivi. Aumenti della conducibilità aumentano i rischi di accoppiamento galvanico o portano alla formazione di un film meno protettivo di $\text{Fe}(\text{OH})_2$
Velocità	Acque stagnanti possono causare pitting e corrosione localizzata; velocità >5 m/s aumenta la corrosione
Temperatura	L'aggressività dell'acqua aumenta con l'aumento della temperatura sino a 80°C ; a temperature superiori l'aggressività diminuisce
Commenti	Occorre sottolineare come l'effetto di ogni parametro risulta influenzato dalle altre variabili

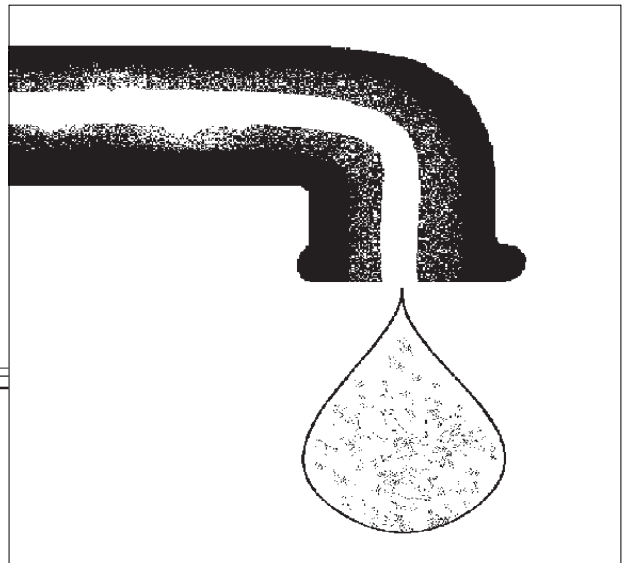
superficie interna) o localizzato e di verificare l'entità delle incrostazioni presenti sulla superficie interna e la loro morfologia.

Dopo un accurato esame visivo si può passare ad analizzare più in dettaglio lo spezzone: se sono presenti delle incrostazioni sulla superficie interna, un primo rapido esame può consistere nello sciogliere un pezzetto di incrostazione in acido cloridrico concentrato. La produzione del caratteristico odore di uova marce sta ad indicare la presenza di solfuro di ferro nell'incrostazione stessa, dovuto all'azione dei batteri solfatoriduttori.

Altri esami che possono essere eseguiti in laboratorio sono: osservazioni al microscopio ottico per

valutare lo spessore del residuo (in base allo spessore del residuo ed all'anno di posa delle tubazioni si può tentare una valutazione della velocità di corrosione ed una stima della vita residua della tubazione); esame ai raggi X delle incrostazioni, per verificare i composti chimici che compongono le incrostazioni stesse (ossidi di ferro, carbonati di ferro, solfuri di ferro, ecc.); esami al microscopio a scansione elettronica (SEM) con sonda EDS per verificare la distribuzione degli elementi all'interfaccia metallo-deposito (ad esempio si può verificare se i carbonati di calcio sono depositati all'interfaccia con il metallo formando un deposito protettivo o se sono localizzati nella zona più esterna dell'incrostazione).

BIOCORROSIONE



LA FORMAZIONE DI BIOFILM E BIOFOULING

Laura Volterra^(*)

La corrosione mediata dai microrganismi è l'effetto della distribuzione di un'acqua non biologicamente stabile. Del resto tutte le acque di falda o potabilizzate contengono sempre un certo numero di cellule batteriche vitali e di sostanza organica biodisponibile. Inoltre nessuna struttura è sterile e nessun materiale (metallico, cementizio, polimerico) è esente dall'attacco dei microrganismi. Per questo una ricrescita microbica avviene sempre e comunque sulla superficie interna delle condotte.

La moltiplicazione batterica dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche delle acque: acque dure e con $\text{pH} < 8$ così come acque con elevata ossidabilità e torbidità fanno aumentare le cariche microbiche, mentre la presenza di agenti chelanti che sottraggono i nutrienti ne inibisce la replicazione.

Sostanze organiche e solidi sospesi inerti tendono ad aderire per forze elettrostatiche alla superficie vergine delle condotte, che cominciano ad acquisire la "memoria" dell'acqua che l'attraversa.

È stato dimostrato come l'aggiunta di nutrienti in un'acqua potabile determini il rapido adsorbimento

dei germi sui solidi sospesi facilitando l'adesione di questo coacervo alle superfici interne dei tubi, come è stato anche documentato al microscopio a scansione (HERSON et al., 1991). Gli incontri casuali tra microrganismi e tra questi e i solidi sospesi avvengono secondo un meccanismo paragonabile a quello del moto browniano.

La presenza di DOC (Dissolved Organic Carbon) o più precisamente di DOC biologicamente utilizzabile promuove lo sviluppo di pellicole biologiche su acciaio, alluminio, vetro, plastica, cemento.

Altri parametri chimici agiscono sulla capacità replicativa solo di alcuni batteri. Concentrazioni di solfati eccedenti i 600 mg/L promuovono la crescita dei microrganismi che sono in grado di ridurli (batteri solfatoriduttori) ed i cui prodotti metabolici aumentano la corrosione delle strutture.

Situazioni idrodinamiche e meccaniche particolari possono favorire ed esaltare il fenomeno dell'adesione batterica alle superfici. In condutture di piccolo diametro, riscontrabili soprattutto nei tratti terminali della rete di distribuzione, la colonizzazione avviene in maniera più rapida ed esuberante per due ragioni: il ristagno dell'acqua e l'ampiezza del lume disponibile

^(*) Istituto Superiore di Sanità - Roma

che incide sul rapporto superficie/volume della condotta.

Altro fattore di rilievo è la velocità di flusso dell'acqua. Una velocità di 0,1-1 m/sec in tubi con lume di 10-15 cm determina una turbolenza che favorisce un intenso contatto tra acqua e superficie del tubo provocando un rapido scambio di nutrienti tra acqua e parete della tubazione (HERSON et al., 1991).

L'attacco batterico inizialmente è reversibile, ma poi diviene irreversibile; in un primo tempo il regime turbolento del fluido ostacola la colonizzazione e favorisce la mobilità dei batteri attaccati. I batteri, infatti, carichi negativamente come le superfici su cui aderiscono, si servono di pili, fimbrie, flagelli. Il successo della "stanzialità" dipende oltre che dalla cinetica dell'acqua, anche dalle asperità delle superfici e dal loro potere adsorbente o di bagnabilità. Successivamente i batteri rimangono adesi sulle superfici per effetto della produzione di "slime", una sorta di collante biologico presente nei secreti di molte forme biologiche, costituito prevalentemente da polisaccaridi e glicoproteine dette SPE (Sostanze Polimeriche Extracellulari).

Una volta avvenuta questa deposizione, la superficie "condizionata" diviene polo di attrazione anche per i pochi microrganismi liberi presenti nell'acqua (batterioplancton).

Adesi alle superfici delle condotte, i microrganismi si trovano in una situazione di privilegio, con una esposizione parziale del protoplasma batterico agli agenti meccanici e chimici.

Il biofilm microbico assume nel tempo le caratteristiche di un gel costituito da materiale amorfo, che intrappola forme viventi anche diverse dai primi colonizzatori batterici (microfite, protozoi e metazoi).

Le pellicole biologiche tendono ad aumentare di spessore e a trasformarsi in "biofouling", esfoliandosi periodicamente all'accrescersi del rapporto peso/spessore, influenzato dalle variazioni dei ritmi duplicativi dei germi conseguenti alle variazioni di temperatura che si registrano in rete. In tal caso la pellicola batterica si trasforma essa stessa in batterioplancton. Questo evento può divenire responsabile di valori anomali eccezionalmente elevati di carica batterica, trovata sporadicamente in controlli effettuati sulle acque destinate al consumo umano.

Il biofilm raggiunge una condizione di equilibrio

quando la spinta al suo accrescimento viene mitigata da quella al consumo ad opera di predatori quali protozoi e metazoi. Ciò può succedere entro 4-6 mesi dall'installazione di una tubatura.

In gel formati su acciaio o su PVC i tempi di raddoppio passano da 11 giorni a 47 giorni in presenza di questi "grazers" eucarioti.

Affinché la superficie di una condotta o di un serbatoio possa quindi costituire un utile "reservoir" per i microrganismi occorre che si verifichino 3 condizioni:

1. che microrganismi presenti assieme ai solidi sospesi, siano in grado di attaccarvisi;
2. che una volta instaurato il contatto, siano sufficientemente resistenti agli agenti disinfettanti;
3. che si accumulino sulle superfici interne grazie alle cariche elettriche, al grado di idrofilia dei materiali e al flusso d'acqua. In tal modo non sono più rinvenibili nell'acqua trasportata, ma vanno a costituire la pellicola biologica.

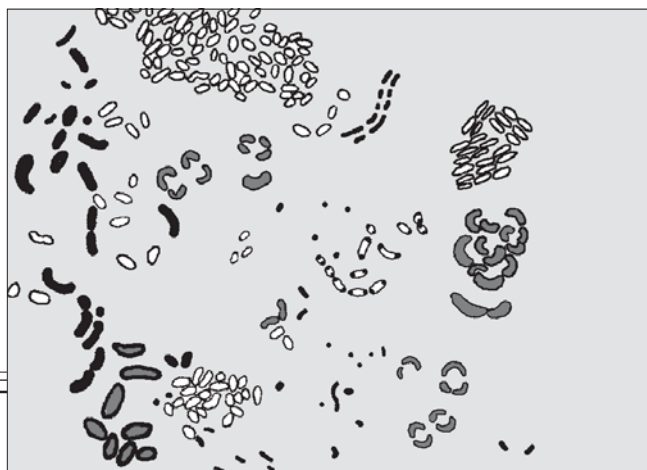
Queste forme viventi, attraverso il loro metabolismo, ossidano e riducono substrati, favorendo la formazione di cellette anodiche-catodiche che possono assumere rilevanza particolare quando siano disposte su un supporto conduttore, quale è, ad esempio, una superficie metallica. Il flusso di elettroni così generato promuove una serie di altre reazioni di ossidoriduzione che coinvolgono la materia inerte, producendo un indebolimento della struttura a causa dei fenomeni corrosivi.

Il DPR 236/88 fissa valori guida e concentrazioni massime ammissibili per il batterioplancton (i batteri presenti nell'acqua circolante). Non tiene però conto dei fenomeni che avvengono sulle superfici, anche se i batteri biofilmanti passano di tanto in tanto, per i processi sopra accennati, ad accrescere il batterioplancton promuovendo transitori superamenti dei limiti fissati dalla normativa vigente. I processi di bio-corrosione, infine, possono indurre problemi visibili e percepibili dall'utenza (torbidità, colore, sapore, odore) e concorrere all'invecchiamento delle strutture di trasporto.

Bibliografia

HERSON D.S., MARSHALL D.R., BAKER R.H., VICTOREEN H.T., 1991. Association of microorganism with surfaces in distribution system. *J.AWWA*: 103-106.

BIOCORROSIONE



I BATTERI IMPLICATI NEI FENOMENI DI CORROSIONE

Nadia Fontani^(*) e Manuela Pedroni^(**)

La biocorrosione è dovuta allo sviluppo di una popolazione microbica molto eterogenea che comprende forme chemiotrofe capaci di trarre energia per il loro metabolismo dal cambiamento della stato di ossidazione di elementi quali ferro, manganese e zolfo, nonché più generici batteri eterotrofi inclusi nella cosiddetta "Carica Batterica Totale".

I primi colonizzatori delle superfici interne delle condotte idriche sono i batteri Gram negativi copiotrofi quali *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, ecc., in quanto necessitano di un substrato ricco di nutrienti; solo successivamente subentrano anche i microrganismi oligotrofi (*Caulobacter*, *Saprospira*, ecc.) che riescono a sopravvivere in una situazione nutritiva meno vantaggiosa. I batteri filamentosi rappresentano la maggior parte della popolazione di un biofilm maturo, in quanto la peculiare morfologia consente loro di adattarsi meglio all'habitat della condotta, estendendosi nel lume del tubo per

assorbire nutrienti ed ossigeno, ormai carenti sulla superficie interna dello stesso.

In tabella 1 sono riportati i principali microrganismi rinvenibili nelle pellicole biologiche che si instaurano nelle condotte.

FERROBATTERI

I Ferrobatteri possono essere definiti come microrganismi in grado di catturare e di ossidare gli ioni ferrosi presenti nell'acqua e di depositarli sotto forma di idrossido ferrico idratato.

I prodotti di ossidazione possono essere immagazzinati all'interno della cellula, rivestire la struttura cellulare o accumularsi sotto forma di depositi di colorazione rossastra come matrici extracellulari.

Questi batteri accelerano la reazione che avviene naturalmente fra l'ossigeno e gli ioni ferrosi presenti nell'acqua catturando l'energia rilasciata dal processo di ossidazione ed utilizzandola per il proprio metabolismo; l'idrossido ferrico compare quale catabolita sulle loro secrezioni mucillaginose.

Anche il manganese, soprattutto se presente in

^(*) AGAC - Reggio Emilia

^(**) ASM - Mantova

Tab.1
Principali batteri implicati nei fenomeni di corrosione

Batteri ferroprecipitanti

Pedunculati (o dotati di glicocalice)

- *Gallionella* sp.
- *Siderocapsa* sp.

Prostecati

- *Hyphomicrobium* sp.
- *Pedomicrobium* sp.
- *Prosthecomicrobium* sp.

Filamentosi guainati

- *Sphaerotilus* sp.
- *Leptothrix* sp.
- *Crenothrix* sp.
- *Clonothrix* sp.
- *Toxothrix* sp.

Spirilliformi

- *Leptospirillum* sp.

Batteri unicellulari non filamentosi

- *Siderocapsa* sp.
- *Naumaniella* sp.
- *Siderococcus* sp.

Batteri ferroriducenti

- *Shewanella* (*Alteromonas*) *putrefaciens*
- *Bacillus* sp.
- *Clostridium* sp.
- *Escherichia coli*
- *Enterobacter aerogenes*
- *Klebsiella oxytoca*
- *Klebsiella pneumoniae*
- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Pseudomonas cepacia*
- *Pseudomonas fluorescens*
- *Listeria* sp.
- *Vibrio* sp.

Batteri solfossidanti

- *Thiobacillus thiooxidans*
- *Thiobacillus ferrooxidans*
- *Thiobacillus thioparus*
- *Thiospira* sp.

Batteri solfossidanti denitrificanti

- *Thiobacillus thioparus*
- *Thiobacillus neapolitanus*
- *Thiobacillus tepidarius*
- *Thiomicrospira denitrificans*

Batteri solfatoriduttori

Non sporigeni

- *Desulfovibrio vulgaris*
- *Desulfovibrio* sp.

Sporigeni

- *Desulfatamaculum* sp.

Batteri solfitoriduttori

- *Clostridium* sp.
- *Clostridium acetochilylicum*
- *Clostridium limosum*

Solfobatteri filamentosi

- *Beggiatoa* sp.
- *Thioploca* sp.

Batteri manganeseprecipitanti

- *Pedomicrobium manganicum*
- *Metallogenium* sp.

Batteri eterotrofi

- *Acinetobacter* sp.
- *Alcaligenes* sp.
- *Bacillus* sp.
- *Chromobacterium* sp.
- *Corynebacterium* sp.
- *Flavobacterium* sp.
- *Kjurthia* sp.
- *Methylobacterium* sp.
- *Micrococcus* sp.
- *Moraxella* sp.
- *Mycobacterium* sp.
- *Pseudomonas* sp.
- *Staphylococcus* sp.

Attinomiceti solfatoriducenti

- *Nocardia* sp.
- *Actinomyces* sp.
- *Streptomyces* sp.

(Segue)

(Segue tab. 1)

Miceti ferroriducanti

- *Acremonium* sp.
- *Penicillium* sp.
- *Rhizopus* sp.
- *Fusarium* sp.
- *Aspergillus* sp.
- *Mucor* sp.
- *Alternaria* sp.
- *Epicoccum* sp.
- *Scopulariopsis brevicaulis*
- *Cladosporium herbarum*
- *Trichosporon* sp.
- *Hormoconis resiniae*
- *Cephalosporium* sp.
- *Rhinochrysiella* sp.
- *Verticillium* sp.
- *Sporocjbe* sp.
- *Trichoderma* sp.
- *Exophila* sp.
- *Paecilomyces* sp.
- *Phialophora* sp.

Lieviti ferroriducanti

- *Rhodotorula* sp.
- *Sporobolomyces* sp.
- *Candida* sp.
- *Cryptococcus* sp.

elevate concentrazioni e con un basso stato di ossidazione, può essere ossidato da questi microrganismi.

I ferrobatteri filamentosi sono inoltre in grado di concentrare ioni cloruro ed i loro depositi risultano ricchi di cloruri di ferro e manganese che agiscono come acido cloridrico diluito esplicando una azione corrosiva sui metalli.

Batteri ferroprecipitanti pedunculati

Si tratta di microrganismi pedunculati o dotati di glicocalice che apparentemente metabolizzano i composti contenenti ferro e manganese.

Di questi, *Gallionella* preferisce habitat con bassi contenuti di sostanza organica, mentre *Siderocapsa* prevale in ambienti con più alto titolo di carbonio organico, che spesso si trovano in microaerofilia.

Gallionella

Gram negativo e strettamente aerobio, *Gallionella* è un batterio costituito da una cellula apicale ed un coda filamentosa elicoidale, composta di fibrille avvolte da idrossido di ferro. La cellula è a forma di rene con diametro di 0,5-0,7 µm e una lunghezza di 0,8-1,8 µm.

Spesso i nastri osservati non mostrano cellule visibili quali singole entità che costituiscono il filamento.

Il filamento nastriforme convoglia i flussi dell'acqua con un meccanismo "spiral down" (a spirale verso il basso) usando lo stesso principio d'azione della coclea di Archimede. Questo meccanismo promuove la disponibilità di ossigeno disciolto e nutrienti in prossimità della cellula, conferendole un vantaggio rispetto alle cellule presenti nel biofilm dotate di altre strutture morfologiche.

Il filamento si allunga con la crescita e l'accumulo di polimeri e di ferro ossidato, fino a quando le forze di taglio, imposte dalla corrente dell'acqua, non ne provocano la rottura.

Una volta tagliato, il filamento diventa una particella sospesa inanimata nell'acqua.

Questo significa che frammenti di filamenti entrano nella fase acquosa e possono essere facilmente riconosciuti ed identificati al microscopio. Una volta che il filamento è stato tagliato, la cellula può secernere un filamento sostitutivo e beneficiare del vantaggio ecologico prodotto da questa particolare struttura. L'ossido e l'idrossido di Fe e/o Mn conferiscono una maggiore resistenza strutturale al filamento.

La temperatura ottimale per la crescita è compresa tra 8 e 16 °C.

Strettamente autotrofa cresce a bassi livelli di ossigeno (<0,1-0,2 mg/L) mentre viene inibita da concentrazioni superiori a 2,75 mg/L. Ciò gli permette di fissare la CO₂ (tramite la via Ribulosio-bifosfato carbossilasi) e conseguentemente di ossidare il ferro-ferroso.

Si sviluppa in condizioni di pH vicino alla neutralità e a basse concentrazioni di carbonio organico disciolto (DOC).

Habitat: largamente diffusa in acque contenenti elevate concentrazioni di sali di ferro.

Siderocapsa

La reazione alla colorazione di Gram non è nota;

aerobio, microaerobio:

Cellule di forma sferica od ovoidale attorniate completamente o parzialmente da una comune capsula incrostata di ossido di ferro e manganese.

La morfologia delle cellule comunque è molto variabile ed è spesso mascherata dall'incrostazione di ferro e manganese che può essere rimossa pretrattando il campione con soluzioni diluite di ac. ossalico, ac. cloridrico o EDTA.

Le cellule funzionano infatti da nuclei di precipitazione di questi ossidi.

Batteri autotrofi o facoltativi, vivono liberi o attaccati alla superficie di supporti immersi nell'ambiente acquoso.

Habitat: questi batteri si rinvencono prevalentemente in acque fredde.

Batteri ferroprecipitanti prostecati

Si tratta di organismi prevalentemente oligotrofi.

Sono caratterizzati dalla presenza di strutture simili alle ife (prostecche), all'estremità delle quali si sviluppa una cellula mobile flagellata che si separa dall'organismo di partenza.

Hyphomicrobium

Gram negativo; aerobio.

Cellule sferiche od ovoidali di 0,3-1,2 x 1,0-1,3 µm con prosteca di diametro variabile tra 0,2 e 0,3 µm.

Le ife non sono settate ma possono mostrare vere ramificazioni. Sono rare invece le ramificazioni secondarie. Sono organismi mesofili e crescono a pH ottimale di 7,0.

Pedomicrobium

Gram negativo; aerobio.

Cellule ovoidali o sferiche di 0,4-2,0 x 0,4-2,5 µm.

Possono presentare 5 o più ife di diametro 0,15-0,3 µm, di cui almeno una origina lateralmente, mentre le altre sono ai poli della cellula madre.

I composti ossidati del ferro e del manganese vengono depositati sia sulla cellula madre che sulle ife.

Prosthecomicrobium

Gram negativo; aerobio.

Batterio unicellulare di diametro 0,8-1,2 µm con

numerose prostecche che si dipartono da tutta la superficie cellulare.

Batteri ferroprecipitanti filamentosi guainati

I batteri filamentosi ferroprecipitanti sono disposti in lunghe catene di singole cellule tenute insieme da una guaina che spesso è incrostata da Fe(OH)₃ e MnO₂.

Questi batteri sono facilmente riconoscibili per la formazione di aggregati flocculanti che li portano ad aderire alle superfici di ciò che è a contatto con l'acqua.

Habitat: di questi microrganismi, *Sphaerotilus natans* è presente in acque più ricche di carbonio organico rispetto a *Leptothrix* sp., che preferisce acque molto pulite, ma in cui siano disponibili ferro e manganese.

Sphaerotilus

Gram negativo; aerobio. Neisser negativo.

Ha cellule di larghezza 1,2-2,5 µm e di lunghezza 2-10 µm, generalmente disposte in catena singola all'interno della guaina ed uniformemente distribuite. Le guaine possono essere attaccate alle superfici in modo tenace.

Le dimensioni della guaina dipendono dalle condizioni nutrizionali; la guaina è formata da complessi peptido-lipidici e polisaccaridici.

Questo organismo può crescere a basse concentrazioni di ossigeno disciolto (< 0,1 mg/L) e a temperature comprese tra 10 e 37 °C. La temperatura ottimale comunque è compresa tra 20 e 30 °C.

Il pH di crescita va da 6,5 a 7,5. Non viene mai utilizzata la fermentazione.

Come fonte di carbonio può usare alcool, parecchi acidi organici e zuccheri.

Le cellule durante gli spostamenti utilizzano i flagelli subpolari (ai margini delle zone polari).

I filamenti evidenziano delle false ramificazioni.

Leptothrix

Gram negativo; aerobio.

Le cellule hanno dimensioni di 0,6-1,4 x 1-1,2 µm disposte a catena all'interno della guaina formata da complessi di lipidi, peptidi, polisaccaridi e acido esopolisaccaridico; il filamento non è mai ramificato.

Le cellule libere sono mobili grazie a un flagello polare.

Come fonte di carbonio utilizza zuccheri (inclusi fruttosio e glucosio), acidi organici (compresi lattico, malico) e glicerolo.

Non ha metabolismo fermentativo. Si sviluppa a basse concentrazioni di DOC.

Il pH ottimale di crescita è compreso tra 6,5 e 7,5 e la temperatura vicina ai 25 °C.

Habitat: rinvenuto in acque fredde e molto ricche di ferro.

Crenothrix

Gram negativo; aerobio.

Cellule cilindriche o a forma di disco con diametro di 0,6-5 µm che si trovano all'interno di una guaina nettamente visibile che dà origine a un filamento lungo anche 1 cm.

Spesso lo si trova fortemente attaccato al biofilm. I filamenti sono ramificati ma occasionalmente si possono vedere false ramificazioni.

Le parti terminali dei filamenti contengono cellule sferiche (macrogonidi) che possono anche essere liberate. Le cellule libere non hanno flagelli.

Habitat: organismi largamente rinvenuti in acque condottate contenenti ferro e materia organica.

Clonothrix

La reazione alla colorazione di Gram non è nota; aerobio.

Filamenti di lunghezza di 1,5 cm e di larghezza 3-7 µm, attaccati alla superficie o liberi in ambiente acquoso, rivestiti di una guaina che può essere incrostante di ossido di ferro o di manganese di colore marrone giallastro. Filamento affusolato più largo alla base che può essere singolo o presentare false ramificazioni. Il filamento è formato da cellule cilindriche di 2-2,5 x 12-18 µm.

Habitat: largamente distribuito in acque stagnanti e correnti contenenti composti del ferro e del manganese.

Toxothrix

La reazione alla colorazione di Gram non è nota

È formato da cellule a bastoncino di 0,5-0,75 x 3-6 µm che costituiscono filamenti di oltre 400 µm di lunghezza.

Producono filamenti a forma di U che ruotano lentamente verso l'apice seguendo un moto circolare.

La sostanza mucoide viene secreta in parecchi punti e viene depositata in un doppio solco ognuno di 0,2 µm. Il tricoma è all'interno di una guaina. Può presentare false ramificazioni.

L'ossido di ferro può essere depositato insieme ad una sostanza mucoide che fa assumere all'organismo una colorazione marrone giallastra.

I filamenti sono estremamente fragili: durante l'esame in laboratorio e dopo un certo periodo di visualizzazione microscopica se ne può osservare la disintegrazione.

Cresce attaccato alla superficie di tubi o materiali di supporto in un ambiente con pH 5,1-7,7 e bassa tensione di ossigeno.

Habitat: organismi rinvenuti in acque fredde contenenti ioni ferro.

Batteri ferroprecipitanti spirilliformi

Leptospirillum

Gram negativo; aerobio.

Vibrioni o cellule spirilliformi motili per la presenza di un solo flagello polare.

Questi microrganismi utilizzano Fe²⁺ come fonte di energia e, sintroficamente con i tiobacilli, possono utilizzare i solfuri.

Ferrobatteri unicellulari non filamentosi

Si tratta di un gruppo di batteri con la caratteristica di possedere una capsula extracellulare, composta di materiale gelatinoso escretato, la cui composizione chimica non è ancora nota (HANERT, 1981).

Questi batteri, incapsulati in gelatina, hanno la capacità di formare grandi masse di idrato ferrico che impregna le loro capsule.

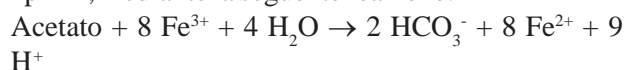
Tali microrganismi sono stati studiati solo da un punto di vista morfologico con l'esame al microscopio ottico dei sedimenti ricavati da acquedotti.

Batteri ferroriducenti

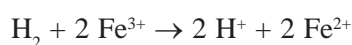
Accanto a *Sewanella putrefaciens* appartengono a questo gruppo anche germi a metabolismo fermentativo includenti *E. Coli*, *Clostridium pasteuria-*

num, *Clostridium sporogenes*, *Lactobacillus lactis*, *Bacillus polymyxa*, ecc.

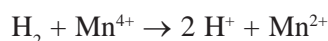
S. putrefaciens utilizza Fe^{3+} ed Mn^{4+} in copresenza con acidi organici, ossidando i secondi e riducendo i primi, mediante la seguente reazione:



Per questa caratteristica funzionale *S. putrefaciens*, ma anche altri batteri che rientrano in questo gruppo come, ad esempio, *Pseudomonas* sp., sono definibili come batteri idrogenossidanti ferroriduttori (ed anche manganeseriduttori) secondo le reazioni generiche:



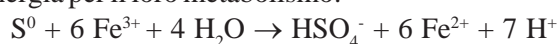
oppure:



BATTERI SOLFOSSIDANTI

Thiobacillus thiooxidans, *T. thioparus*, *Thiospira*

La principale caratteristica di questo gruppo di batteri è quella di ossidare zolfo inorganico ottenendo energia per il loro metabolismo:



Sono batteri Gram negativi strettamente aerobi, autotrofi e con la capacità di sviluppo nell'intervallo di pH tra 2,0 e 4,4 con valore ottimale di crescita uguale a 3; la temperatura ottimale di crescita è di 30-35 °C.

L'azione corrosiva è favorita dalla loro capacità di abbassare il pH e quindi di aumentare la velocità delle reazioni con il successivo aumento di sostanze ad azione corrosiva (ac. solforico).

Al microscopio si riconoscono dai lunghi filamenti (> 100 μm) che tendono a disgregarsi durante gli ultimi stadi di crescita, trasformandosi in piccoli filamenti a cellule bastoncellari (0,5 per 1,0 μm) mobili che appaiono disposte in coppie, in corte catene o singolarmente.

Il movimento avviene grazie a un singolo flagello posto nella zona polare.

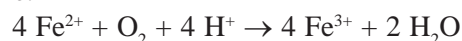
Habitat: Questo particolare gruppo di batteri si ritrova comunemente nel suolo, nell'acqua e nei sedimenti.

Thiobacillus ferrooxidans

Gram negativo; aerobio ed anaerobio.

Batterio filamentoso, acidofilo, solfoossidante e fer-

rossidante, obbligatoriamente litotrofo che viene classificato come *Thiobacillus* per la sua capacità di metabolizzare lo zolfo piuttosto che per quella di ricavare energia dall'ossidazione del ferro secondo la reazione:



T. ferrooxidans è aerobio in una prima fase di coltura e successivamente anaerobio.

Habitat: acque acide contenenti ferro.

BATTERI

SOLFOSSIDANTI DENITRIFICANTI

A questo gruppo appartengono forme bastoncellari (ad eccezione di *Thiomicrospira* che è spiraliforme) in grado di ossidare lo zolfo a spese dello ione nitrato che viene ridotto a nitrito.

Tutte le specie appartenenti al genere *Thiobacillus* sono aerobie ad eccezione di *T. denitrificans* che è microaerofilo.

Habitat: ampiamente diffusi nel suolo, nelle acque e nei sedimenti.

BATTERI SOLFATORIDUTTORI

Si tratta di organismi con meccanismo respiratorio in grado di utilizzare solfati o composti contenenti zolfo come accettori terminali di elettroni, riducendoli parzialmente ad H_2S .

Molte specie ossidano composti organici, quali ad esempio il lattato, trasformandolo in acetato che non è più ulteriormente degradato, secondo la reazione:



Desulfovibrio

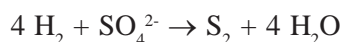
Gram negativo; anaerobio obbligato.

Vibrioni leggermente incurvati con lunghezza variabile da 0,5-1,5 a 2,5-10 μm.

Si presenta come cellula singola o come una corta catena dalla forma di spirillo, estremamente mobile grazie ad un singolo o ad un ciuffo di flagelli polari.

La temperatura ottimale di crescita è compresa tra i 25 ed i 35 °C.

L'idrogeno è il suo più importante donatore di elettroni:



Alcuni stipiti di *Desulfovibrio desulfuricans* sono anche ferroriduttori trasformando Fe^{3+} in Fe^{2+}

Habitat: lo si ritrova nelle acque, comprese quelle marine, e nel suolo.

Desulfatamaculum

Gram negativo; anaerobio obbligato.

Ha la forma di bastoncino diritto o curvo di dimensioni 0,3-1,5 x 3-9 μm ; è mobile grazie ai flagelli peritrichi della zona polare.

Produce spore ovali che formano lievi rigonfiamenti sulle cellule. Solfati, solfiti e zolfo sono gli accettori di elettroni che vengono attaccati e ridotti a H_2S .

La temperatura ottimale per il loro accrescimento va dai 35 ai 55 °C; alcuni ceppi crescono anche a 25-30 °C.

BATTERI SOLFITORIDUTTORI

Si tratta di batteri molto diffusi nell'ambiente che riducono solfiti e solfuri. Contemporaneamente riducono Fe^{3+} a Fe^{2+} e quindi possono rientrare anche nel gruppo funzionale dei batteri ferroriduttori.

Molti batteri solfitoriduttori appartengono a specie strettamente anaerobie o aerotolleranti. La loro enumerazione completa dovrebbe quindi essere condotta in anaerobiosi.

Rientra in questo gruppo il genere *Clostridium*.

SOLFOBATTERI FILAMENTOSI

Si tratta di batteri ampiamente diffusi in ambienti in cui è disponibile una discreta concentrazione di H_2S e le condizioni non siano strettamente anossiche.

I filamenti di questi batteri sono dotati di movimenti oscillanti.

Beggiatoa

Gram negativo; aerobio o microaerofilo. Neisser negativo (può presentare granuli Neisser positivi).

Cellule incolori di 1-50 μm x 2-10 μm .

Le cellule possono presentarsi singole o in filamenti non inguainati.

Le cellule possono inoltre presentare inclusioni di globuli di zolfo, polifosfati o poli-b- idrossibutirrato

(PHB).

Habitat: organismi spesso presenti in sedimenti nell'interfaccia tra la zona anossica e quella ossigenata.

Thioploca

I tricomi sono analoghi a quelli di *Beggiatoa*, ma contenuti in una guaina viscosa all'interno della quale hanno capacità di movimento. Il numero di filamenti nella guaina è variabile.

I filamenti più lunghi hanno un diametro uniforme e possono terminare arrotondati od affusolati.

Sono spesso presenti inclusioni di zolfo.

Habitat: acque fredde contenenti idrogeno solforato e carbonato di calcio.

BATTERI MANGANESEPRECIPITANTI

Batteri filamentosi bastoncellari o spiraliformi che concorrono alla deposizione di manganese, il quale attribuisce un colore brunastro alle acque.

Metallogenium

Cellule coccoidi di 0,2-1,5 μm di diametro, spesso rinvenute in clusters e fortemente incrostate di biossido di manganese.

La temperatura ottimale per la loro crescita è di 28 °C mentre il pH è tra 6,8 e 7,2.

Habitat: ampiamente presenti nel plankton di acque di lago, sedimenti e nel suolo.

Pedomicrobium manganicum

Gram negativo; aerobio.

Cellule sferiche ad ovali di 0,4-2,0 x 0,4-2,5 μm . Presentano 5 o più ife con funzione riproduttiva di 0,15-0,30 μm .

BATTERI ETERTROFI

Nello studio della biocorrosione oltre ai batteri fin qui descritti, si devono considerare altri microrganismi con caratteristiche molto diverse tra loro, ma accomunati dal fatto di essere rilevati frequentemente in reti di acque potabili con problemi di corrosione.

I batteri eterotrofi possono depositare il ferro nello stesso modo dei caratteristici batteri ferro-ossidanti.

I batteri che producono polimeri extracellulari aci-

di, in condizioni moderatamente acide o neutre, possono assorbire in modo non specifico idrossidi di ferro caricati positivamente.

Un importante ruolo nella corrosione biologica è svolto dai batteri del genere *Pseudomonas*, cui appartengono specie note per essere tra le prime colonizzatrici del biofilm.

In particolare sono stati compiuti studi in laboratorio sulla irregolarità del biofilm costituito da *Pseudomonas aeruginosa*. Il risultato di questa osservazione rivela che la superficie del biofilm è rugosa e indica il distacco di biomassa formata da particelle multicellulari.

Sono stati condotti, inoltre, ulteriori studi sulla particolare resistenza di *Pseudomonas aeruginosa* allo iodio, dai quali si evince che la matrice del glicocalice accumulata rappresenta la barriera di protezione.

Pseudomonas, *Alcaligenes* e *Moraxella* sono in grado di utilizzare complessi organici di ferro ammonio citrato e in molti casi di ferro malonato e/o galattosato.

In tutti i casi il ferro viene precipitato in forma di flocculati rossi.

È di notevole importanza ricordare che il ruolo svolto da *Pseudomonas* è quello di batterio ferroriducente; è in grado inoltre di metabolizzare l'azoto nitrico utilizzato come inibitore dei fenomeni corrosivi, riducendolo a N₂ gassoso.

Il genere *Bacillus* annovera batteri anaerobi ed aerobi facoltativi largamente diffusi in natura e con la capacità di produrre spore, grazie alle quali riescono a sopravvivere per lunghi periodi in condizioni ambientali avverse.

Bacillus pumilus è capace di utilizzare il carbonio presente in complessi di ferro, lasciando quest'ultimo fissato in capsule e creando problemi di precipitazioni di ferro.

Flavobacterium e *Pseudomonas vescicularis* sono stati ritrovati in campioni di materiale flocculato e da quelli prelevati dalla superficie delle condutture.

Arthrobacter è stato ritrovato nei tubercoli e nel sedimento dove si evidenziava anche la presenza di coliformi.

I coliformi non sembrano uniformemente associati al biofilm anche se alcuni Autori hanno isolato

Klebsiella sp. ed *Escherichia coli* in campioni di fanghiglia.

ATTINOMICETI

Nel batterioplancton di acque potabili si possono riscontrare titoli di attinomiceti compresi tra 1 e 1000 UFC/100 mL.

È molto probabile quindi che questi valori siano notevolmente superiori sulle superfici interne dei tubi, nel biofilm e nei sedimenti che si formano in condotta.

Agli attinomiceti è attribuito il ruolo di degradatori di materiali polimerici naturali e di sintesi usati per la fabbricazione di guarnizioni e giunti soprattutto a livello degli impianti domestici.

La loro colonizzazione si associa spesso alla produzione di odori sgradevoli legati a molecole quali geosmina e metilisoborneolo percepibili dall'utenza anche a basse concentrazioni.

Il genere *Streptomyces* è caratterizzato da micelio recante catene di 5-50 spore. Si differenzia dal genere *Nocardia* che ha tipiche ife frammentate e dal genere *Micromonospora* con micelio dotato di spore singole.

Habitat: Sono stati isolati in raccordi ed altre parti idrauliche delle condotte, anche se realizzate in gomma.

MUFFE E LIEVITI

La popolazione dei lieviti che si moltiplicano in rete comprende varie specie di *Candida* (*C. parapsilosis*, *C. stellatoidea*, *C. tropicalis*, *C. zeylandoidea*, *C. lusitana*), *Cryptococcus albidus*, *Rhodotorula glutinis* e *Sporobolomyces* sp.

Nell'ambito della carica batterica totale di un'acqua potabile i lieviti possono costituire l'1-2% con titoli che variano da 1 a 100 UFC/mL.

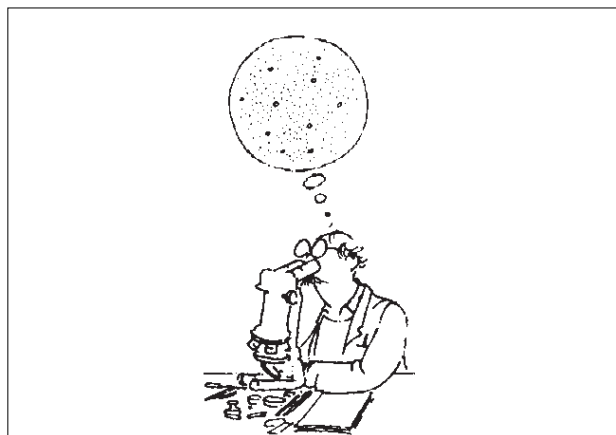
Tra i miceti ferroriducenti sono compresi i generi *Acremonium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichosporon* e le specie *Scofulariopsis brevicaulis*, *Cladosporium herbarum*, *Hormoconis resinae*.

Altri funghi filamentosi ritrovati in acque potabili appartengono ai generi *Alternaria*, *Epicoccum*, *Cephalosporium*, *Verticillium*, *Trochoderma*, *Exophiala*, *Paecilomyces* e *Phialophora*.

Questa lista non deve considerarsi esaustiva. Infatti ai funghi appartengono specie con ampia valenza biodegradativa.

I titoli registrati nel biofilm possono giungere a 100-1.000 UFC/cm².

Habitat: Isolati in acque superficiali e profonde, acque potabilizzate, sulla superficie di serbatoi e condotte. Sono spesso presenti nei tubercoli poiché sono ricchi di nutrienti e li proteggono dall'azione dei disinfettanti.



L'accertamento della presenza di microrganismi adesi alle superfici interne delle condotte aiuta a comprendere la natura del fenomeno corrosivo in atto ed il suo stato di avanzamento.

Le indagini microbiologiche possono essere effettuate su una o più matrici: sul biofilm, che rappresenta lo stadio preliminare del processo corrosivo; sulle formazioni tubercolari, che ne rappresentano quello finale; sulle fanghiglie e sedimenti raccolti durante le operazioni di lavaggio della rete; sull'acqua circolante nella condotta stessa previa opportuna concentrazione di grossi volumi di campione.

Mediante osservazione microscopica diretta del campione e dopo opportune tecniche di colorazione, è possibile identificare la maggior parte di batteri filamentosi, peraltro difficilmente isolabili su terreni colturali.

Le analisi che si basano invece su sistemi di arricchimento su substrati specifici risultano idonee per la ricerca dei batteri eterotrofi, i non filamentosi in genere, le muffe ed i lieviti.

Bibliografia essenziale

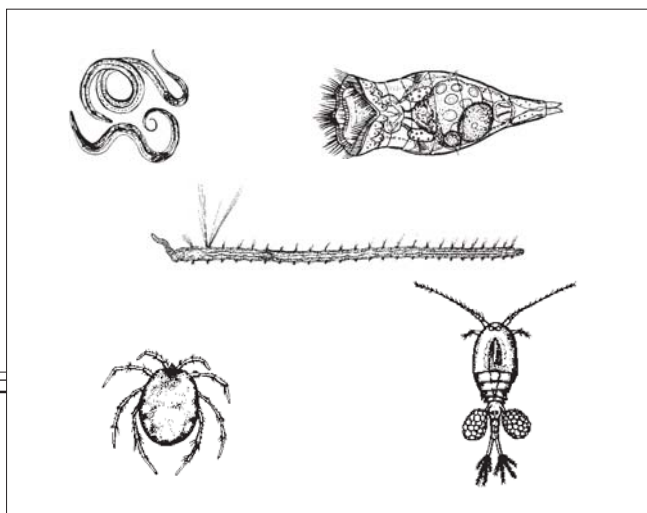
AULICINO A. et al. - 1989. Corrosione batterica nelle reti.

In "Microbiologia delle acque potabili", 6: 109-115.

BERGEY'S "Manual of systematic bacteriology", 1990, William e Wilkins, Baltimore.

CHANTEREAU J. - 1980. Corrosion Bactérienne: Bactéries de la corrosion. Technique et Documentation.

BIOCORROSIONE



MACROINVERTEBRATI COLONIZZANTI IL BIOFILM

Serena Bernabei^(*) e Laura Volterra^(*)

La presente memoria nasce dalle esperienze maturate in questo settore attraverso l'osservazione da parte degli Autori di circa 500 campioni di acqua di rete raccolti sul territorio italiano, ma tiene anche conto delle indicazioni riportate in letteratura. Dovrebbe consentire al biologo di riconoscere organismi quali briozoi, spugne, vermi segmentati e vermi tondi facenti parte del biofouling che può rivestire le strutture che vengono a contatto con l'acqua.

Nei moderni acquedotti gli impianti di trattamento delle acque superficiali, di sorgente e di falda dovrebbero costituire una barriera efficace nei confronti della maggior parte degli organismi, ma le vasche di deposito poco protette e le frequenti manutenzione ed ampliamenti della rete favoriscono contatti temporanei con l'ambiente esterno rendendo possibile anche l'accesso di invertebrati.

Gli organismi qui riportati non sono associati, se non in rari casi e non direttamente, con malattie umane. Si evidenziano mediante osservazione microscopica di sedimenti raccolti durante lo spurgo di

tubature e la pulizia di serbatoi e di spezzoni di condotte.

La presenza di numerosi animali acquatici nelle reti di distribuzione può essere spesso associata ad una generosa riserva di cibo, unitamente ad altri fattori favorevoli. Così, se un grande numero di invertebrati acquatici appare improvvisamente in una rete di distribuzione, l'operatore può sospettare che i processi di trattamento non abbiano abbattuto le sostanze organiche come dovrebbe avvenire a seguito anche della sola clorazione, e quindi non siano stati sufficienti a inibire la catena alimentare. Se lo stesso fenomeno si manifesta in un serbatoio si può ritenere che esso non sia stato sufficientemente protetto da contaminazioni esterne.

Ogni materiale che incrementa la fertilità (residui vegetali, sporcizia, altri contaminanti organici) attiva la catena alimentare degli organismi, analogamente a quello che avviene in un'acqua superficiale.

L'acqua di sorgente prelevata a scopo potabile è di solito sottoposta al solo processo di clorazione in quanto generalmente ritenuta priva od estremamente povera di forme viventi, mentre le acque superficiali

^(*) Istituto Superiore di Sanità - Roma

vengono sottoposte almeno ad un processo di filtrazione. Gli Autori hanno però potuto riscontrare in reti che captano acqua di sorgente l'abbondanza di elementi figurati probabilmente già presenti alla fonte. Questo dato è un'ulteriore conferma delle raccomandazioni dell'OMS di applicare la filtrazione anche alle acque di sorgente.

È stato comunque dimostrato che anche con la filtrazione, almeno con filtri a sabbia lenti, occasionalmente possono essere trovati animali nell'acqua filtrata.

Le più comuni forme che possono vivere negli acquiferi profondi sono poche specie di nematodi a vita libera, protozoi, alcuni rotiferi e piccoli crostacei.

Il rinvenimento di questi organismi in un sistema di distribuzione è indizio di una trasformazione in atto all'interno delle tubature la cui origine deve essere accertata. Le possibili fonti di contaminazione possono essere riassunte in cinque punti:

- 1) la presenza di queste forme nell'acquifero o nella facies crenobiotica che si installa alla sorgente o all'opera di presa;
- 2) la non completa efficienza dei trattamenti di potabilizzazione;
- 3) la penetrazione all'atto della posa in opera dei tubi o durante riparazioni;
- 4) la possibile formazione di reservoir nei serbatoi;
- 5) la gestione della rete acquedottistica soprattutto per quanto riguarda la continuità della portata.

PROTOZOI

Ciliati

Le forme che vivono nelle acque si nutrono di batteri, flagellati, alghe, di altri ciliati, granuli di amido e goccioline di grasso. Tra i ciliati più comunemente associati alle reti acquedottistiche sono riportati: *Vorticella* sp., *Aspidisca* sp., *Paramecium* sp., *Microthorax* sp., *Trachelophyllum* sp., *Hemiophrys* sp., *Chilodonella* sp., *Uronema* sp., *Euplotes* sp., *Bodo* sp., *Cinetochilum* sp. Le specie ritrovate possono indirettamente indicare altre presenze in rete: ad esempio *Chilodonella uncinata* si può nutrire di microfite; *Trachelophyllum pusillum* e *Hemiophrys bivaucolata* di protozoi flagellati; *Vorticella convallaria*, *Aspidisca cicada*, *Aspidisca lynceum*, *Cinetochilum margaritaceus*, *Paramecium* sp., *Microtho-*

rax sulcatus sono selettivamente batteriovore.

Amebe

Sono organismi unicellulari caratterizzati da appendici mobili dette pseudopodi che consentono all'animale di avvolgere particelle di nutrimento, di strisciare e di muoversi. Le dimensioni variano da meno di 25 µm a più di 300 µm.

Nelle reti di distribuzione è riportata la presenza dei seguenti generi: *Naegleria* sp., *Echinamoeba* sp., *Vahlkampfia* sp., tra le Acanthamebe; *Hartmannella* sp., *Diffugia* sp., *Arcella* sp. e *Thecamoeba* sp. tra le Tecamebe. Nelle condotte americane che prelevano acque superficiali sono frequenti le specie *Naegleria gruberi*, *Hartmannella glebae*, *Hartmannella agricola* e *Hartmannella rhyodes*. Di queste alcune possono avere un interesse sanitario come *Naegleria fowleri* che può ingenerare la meningoencefalite amebica primaria ed *Acanthamoeba*, agente a volte di meningite amebica e infezioni polmonari.

METAZOI

Poriferi

Le spugne non possiedono veri e propri organi, ma sono costituite da aggregati di diversi tipi di cellule specializzate. Sorrette da aghi scheletrici, le cellule formano una struttura cava molto ramificata divisa in settori che esibisce dei pori e comunica con l'esterno con larghi canali detti osculi.

Sono stati segnalati da PENNAK (1953) e MORGAN (1930) occasionali intasamenti di tubi e condotte foderate da un rivestimento di poriferi spesso anche più di 2,5 cm. L'incrostazione ostacolava il flusso attraverso il tubo, talvolta bloccandolo. Morgan riporta anche che la putrefazione delle spugne imprime all'acqua un sapore di marcio. In tubature di cemento è segnalata la presenza della specie *Trochospongilla leidy*.

Celenterati

Sono organismi in cui generalmente si ha alternanza di una generazione polipoide con riproduzione asessuata e di una in forma di medusa con riproduzione sessuale. Quasi tutte le forme di acqua dolce hanno perso la fase di medusa ed assunto nella fase polipoide la riproduzione sessuale, che però interviene solo

in condizioni di stress ambientale.

Le idre, piccoli polipi d'acqua dolce (da 10 mm a 2,5 cm) hanno il corpo costituito da un piede, con cui aderiscono a sostegni fissi, un tronco, che delimita il vano dello stomaco, un disco orale con la bocca ed i tentacoli per la cattura delle prede disposti attorno al disco orale.

Le idre si cibano prevalentemente di copepodi, cladoceri ed anellidi. Il loro colore varia dal verde al bronzo, al rosso, al marrone.

Le idre sono state riportate tra gli organismi in grado di svilupparsi sulle pareti dei letti di filtrazione dell'impianto di New York (MORGAN, 1930) conferendo un colorito rosa ai muri del letto. La loro abbondanza è correlata con una disponibilità dei crostacei di cui si nutrono. Anche nell'impianto di filtrazione di Chicago (BAYLIS, 1957) è stata segnalata una invasione di idre.

Rotiferi

I rotiferi sono piccoli organismi lunghi dai 40 µm ai 3 mm, ciliati all'estremità anteriore per la presenza di un apparato rotatorio che produce vortici d'acqua per la nutrizione ed il nuoto. Sono articolati in testa, tronco e piede. Vivono come predatori e parassiti in tutti i tipi di acque, dai laghi più profondi alle pozze.

Sono stati raccolti dalla superficie dei filtri ed in altre strutture di impianti di potabilizzazione. I seguenti generi sono stati riportati da HOBBS (1950) in impianti inglesi: *Diglena*, *Colurella*, *Anurea*, *Polyarthra* e *Triarthra*.

Nematodi

I nematodi costituiscono il gruppo di metazoi più frequentemente ritrovabile negli acquedotti. Individuati nelle acque potabili fin dal 1865, solo 50 anni più tardi si cominciò a studiare il fenomeno (COBB, 1918). Segnalazioni riguardano l'Ungheria, gli USA, il Canada, l'India, Puertorico, il Sud Africa, la Germania, l'Italia e molti altri Paesi.

Le specie di nematodi esistenti sono stimate intorno a 100.000. Molte sono parassite e quasi tutte si assomigliano per forma e struttura del corpo, sicché una loro classificazione è piuttosto complessa. Gli animali sono rivestiti da una spessa cuticola per lo più liscia, talvolta ad anelli. Contrariamente agli anellidi

però non presentano segmentazione del corpo. Il nematode *Diplogaster nudicapitatus* (0,6-1,2 mm) è stato riportato nelle condotte americane (CHANG, 1959 e 1960) insieme ai generi *Seinura*, *Monhystera*, *Aphelenchus*, *Rhabditis*, *Cephalobus*, *Turbatrix* e *Dorilaimus* (1-3 cm). In Inghilterra è stata riportata (KELLY, 1955) la specie *Trilobus gracilis* negli effluenti dei filtri a sabbia lenti ed i generi *Dorylaimus* e *Rhabdolaimus* nei filtri e nelle tubature. Le prime segnalazioni di nematodi in reti acquedottistiche sono venute da Paesi che utilizzano acque di superficie; la loro presenza è probabilmente legata al dilavamento dei terreni circostanti e quindi correlata ad alti valori di torbidità. In Italia, soprattutto al nord, si sono avuti problemi per la presenza di nematodi della famiglia Rhabditidae e dalle specie *Plectus cirratus* e *Paractinolaimus macrolaimus*. Dalla nostra esperienza maturata su campioni d'acqua di rete provenienti da tutta Italia abbiamo potuto appurare la presenza dei nematodi anche nelle acque di falda; questi organismi fanno probabilmente parte della fauna originale dell'acquifero e non vengono abbattuti con il solo processo di clorazione a cui spesso queste acque sono sottoposte. E' stato supposto che i nematodi fungano da vettori di microrganismi patogeni di cui possono nutrirsi. Altri generi che possono ritrovarsi sono: *Aphelenochoides* sp., *Cephalobus* sp., *Ditylenchus* sp., *Eudorylaimus* sp., *Ironuss* sp., *Monhystrella* sp., *Mononchus* sp., *Nothotylenchus* sp., *Panagrolaimus* sp., *Pratylenchus* sp., *Pristionchus* sp., *Rhabditis* sp., *Tobrillus* sp., *Triphyla* sp. (SMERDA et al., 1971).

E' frequente il ritrovamento di più generi nello stesso campione: 8 in USA (CHANG et al., 1960); 28 generi comprendenti 42 specie in Ungheria a Budapest (DOZSA-FARKAS, 1965); 30 generi nelle reti di distribuzione di Puertorico (ROMAN e RIVAS, 1971); 63 generi in 3 città canadesi (MOTT e HARRISON, 1983); 6 generi in Sud Africa (SMITH e VAN MIEGHEM, 1983).

In Italia sono stati segnalati a Cremona con un episodio di infestazione da *Mononchus* (BONETTI e TAMPIERI, 1968), ma attualmente si sono dimostrati più frequenti di quanto si credesse con ritrovamenti in acquedotti del Veneto, del Friuli Venezia Giulia, del Lazio, della Toscana, dell'Emilia Romagna e delle Marche (VOLTERRA, AULICINO, BERNABEI, MANCINI, comunicazione personale).

I titoli ritrovabili oscillano dalle unità per litro (TOM-BES et al., 1979), alle decine per litro (MOTT et al., 1981), con punte eccezionali di centinaia per litro (LUPI, 1987).

Per uccidere un nematode occorrono 20 mg di cloro per litro con un tempo di contatto di due ore e 30 minuti, ma per inattivare le uova non bastano dosi 10 volte maggiori mantenute per giorni.

Gordiacei

I gordiacei o nematomorfi sono, allo stadio larvale, parassiti vermiformi lunghi e sottili di insetti e crostacei ma, allo stadio adulto, conducono vita libera. La loro lunghezza varia da 10 a 700 mm, con un diametro di soli 0,3-2,5 mm. In un recente lavoro di ricerca degli elementi figurati nelle reti acquedottistiche italiane sono stati ritrovati esemplari di gordiacei in acquedotti alimentati con acqua di falda.

Briozoi

I briozoi sono organismi sessili coloniali fissati ad un substrato e forniti di una corona di tentacoli attorno alla bocca. ROGICK riporta (1959) che i generi *Plumatella*, *Fredericella* e *Paludicella* sono ben conosciuti per ostruire o ridurre il diametro delle condutture con i loro materiali di crescita.

Anellidi - Oligocheti

Gli oligocheti sono estremamente difficili da classificare. Si articolano in segmenti; il corpo presenta un lobo encefalico e un piccolo lobo anale fra cui sono interposti da 7 a 200 segmenti quasi uguali.

I filtri a sabbia rapidi, che raccolgono detriti organici negli interstizi tra i granelli, possono rappresentare un luogo ideale per la riproduzione degli oligocheti. In caso di infestazione la bonifica del letto filtrante può essere eseguita con un controlavaggio con una soluzione forte di soda caustica. Al contrario dei filtri a sabbia rapidi che li bloccano, quelli lenti ne permettono il passaggio in rete. In acque non filtrate e clorate della California è stato trovato il genere *Nais* sp. (2-8 mm) (BELL, 1955). Lo stesso genere è riportato dall'OMS (WHO, 1992) in quanto frequentemente se ne ritrovano le setole in campioni di acqua da bere.

Crostacei - Cladoceri

In generale i cladoceri sono lunghi 0,2-3,0 mm. Il

loro corpo non è chiaramente segmentato. Sotto il microscopio gli animali appaiono traslucidi; una illuminazione appropriata rivela i loro organi interni ricoperti da un guscio bivalve. La parte posteriore del corpo termina spesso con una lunga spina. Una larga struttura scura sulla testa è un occhio composito, che è la caratteristica principale di questi animali. Il secondo paio di appendici, o antenne, attaccate al capo sono molto larghe e ramificate. Le antenne sono usate come organo propulsore per il nuoto. I cladoceri si nutrono di materia organica particolata, batteri, protozoi, alghe, rotiferi e a volte di altri crostacei. Questi piccoli crostacei possono a volte essere osservati in riserve di acque potabili non filtrate. Negli anni '50 in America (HART, 1957) è stata riportata la loro presenza in reti di distribuzione. COX (1946) indica che i cladoceri, frequenti nelle acque superficiali, possono essere rimossi dalle riserve d'acqua con la filtrazione; KELLY (1955) riporta invece la presenza di *Daphnia* sp. negli effluenti dei filtri a sabbia lenti. *Alona* sp. è stata inclusa tra i gruppi di animali acquatici rinvenibili in rete (GERARDI e GRIMM, 1982).

Crostacei - Copepodi

CRABILL (1956) ha riferito la presenza nei filtri dell'impianto di Indianapolis di copepodi adulti dei generi *Cyclops* e *Canthocampus*. La lunghezza dei *Cyclops* è di 0,3-3,2 mm. Le appendici pari sono attaccate al capo e al torace. Spesso due corpi oblungi ed ovali si osservano ai lati del corpo delle femmine, sono gli ovisacchi pieni di uova. Da ogni uovo esce una larva chiamata nauplius. I copepodi sono componenti comuni del plancton. Si cibano di animali e piante unicellulari e detrito organico. Sono state ritrovate anche le specie *Paracyclops fimbriatus* e *Chydorus sphaericus* (WHO, 1992). Le loro uova (HART, 1957) comunque passano attraverso i filtri e arrivano nelle acque trattate, così che le forme adulte possono essere ritrovate ai rubinetti dei consumatori. In casi di infestazione sono stati osservati picchi con circa 20 uova/litro nelle acque trattate e negli effluenti dei filtri. In Italia è stata segnalata la presenza in una rete del nord della specie *Paracyclops fimbriatus*.

Crostacei - Isopodi

Gli isopodi sono lunghi in media 0,5-1,5 cm e di colore grigio o marrone. Il corpo è fortemente seg-

mentato, con sette paia di appendici: il primo paio costituisce un apparato raschiatore. L'ultimo paio di appendici è molto più lungo del primo. Il gruppo più comune di Isopode acquatico e di interesse nelle acque potabili è il genere *Asellus*. HOBBS (1950) riporta *Asellus* con altri tipi di crostacei come *Gammarus* ed *Eucrangonyx* nei filtri a sabbia lenti. Sono usualmente presenti in piccolo numero e provocano problemi ai consumatori solo perché sono visibili.

Crostacei - Anfipodi

Gli anfipodi presentano il corpo compresso lateralmente e l'addome flesso ventralmente. Nelle reti americane è comunemente riportata la presenza della specie *Hyaella azteca*, organismo bentonico e onnivoro. Sempre in America, sono stati condotti vari studi sulle possibili implicazioni sanitarie dovute alla presenza di questi organismi come accumulatori di patogeni potenziali (LEVY, 1984-1986). La presenza di *Gammarus pulex* in reti acquedottistiche è segnalata dall'OMS (WHO, 1992).

Acari - Idracarini

Gli idracarini sono un gruppo di organismi caratterizzati dal corpo indiviso e da 4 paia di zampe negli adulti e ninfe e da 3 paia nelle larve. Le dimensioni degli acari acquatici varia da 0,5 a 5 mm. Tutti gli acari di acqua dolce sono predatori. Viene riportata la presenza nelle reti della specie *Tyrophagus putrescentie* (WHO, 1992). Si tratta, in genere di forme che fanno parte della faunula stigo e crenobionte.

Insetti - Chironomidi

Molti tipi di chironomidi sono lunghi 20-25 mm. Il corpo cilindrico porta ventralmente 2 paia di pseudopodi (false zampe): un paio toracico e l'altro anale. L'ultimo segmento addominale porta generalmente ciuffetti di setole. BAHLMAN (1931) ha indicato la presenza di chironomidi in un impianto di trattamento delle acque di Cincinnati. In quell'occasione, da un rubinetto di acqua trattata dell'impianto sono stati raccolti in 24 ore dai 5 ai 20 esemplari. Le foglie e la ricrescita algale, che sono associate alla formazione del fango di fondo dei serbatoi, formano un habitat ideale per le larve di chironomidi. HECHMER (1932) riporta la presenza di chironomidi in serbatoi di acqua trattata, in bacini di coagulazione e sulla superficie dei

filtri a sabbia nell'impianto di distribuzione di Washington D.C. In Italia si hanno segnalazioni della presenza in acquedotti del nord della specie *Stygotanytarsus inquilinus*.

Insetti - Culicidi

I culicidi sono caratterizzati dall'addome dilatato e da segmentazione apparentemente assente e dal capo largo. Le larve sono detritivore. La loro presenza nelle reti è segnalata dall'OMS (WHO, 1992).

Molluschi - Gasteropodi

Appartengono a questo gruppo di animali le comuni lumache e le chioccioline. Le conchiglie degli adulti che possono ritrovarsi sono lunghe da 9,5 a 15 mm, con una larghezza massima di 6-7 mm. La conchiglia è trasparente o opaca. In acquedotti americani è stata segnalata la presenza dei generi *Physa*, *Gonio-basis*, *Helisoma*, *Lymnaea*, *Ancylus*, *Pleurocera* e *Bythinia* (MACKENTUM, KEUP, 1970). Nell'acquedotto di Singapore vi sono state difficoltà attribuite alla presenza della specie *Melania tuberculata* (INGRAM, BARTSCH, 1960).

Molluschi - Bivalvi

I bivalvi sono molluschi con una conchiglia costituita da due valve laterali, tipicamente simmetriche. Si nutrono per filtrazione trattenendo le particelle sospese in acqua. Le dimensioni della conchiglia variano da 1 a 50 mm di lunghezza. In Europa si sono avuti per molti anni, dal 1886 al 1952, problemi causati dal bivalve *Dreissena polymorpha*, che impediva il libero passaggio dell'acqua restringendo il diametro delle tubature (INGRAM, 1956; CLARKE, 1952; GREENSHIELD, RIDLEY, 1957; WHO, 1992). Questo mollusco si ciba di limo di origine vegetale. Si pensa che i molluschi giungano nelle acque trattate che sono state sottoposte al processo di filtrazione passando dal fondo dei filtri.

Altri animali possono ritrovarsi nelle reti idriche, probabilmente per intrusioni accidentali. Dalla nostra esperienza di lavoro possono citarsi gli adulti alati di insetti che depongono le uova in ambiente umido e altri insetti quali le formiche che colonizzano bracci morti dell'acquedotto.

TECNICHE DI RILEVAMENTO

Il DPR 236/88 riporta tra i parametri del gruppo C4 il rilevamento di protozoi e metazoi. Né la direttiva comunitaria né il suo recepimento nel nostro Paese, però, fissano limiti ed indicano metodiche di rilevamento. La sperimentazione effettuata nell'Istituto Superiore di Sanità con la collaborazione di organi di controllo periferici e gestori di impianti ha evidenziato che i risultati migliori per il rilevamento di elementi figurati sono raggiungibili con 3 tecniche: a) l'osservazione diretta; b) la filtrazione; c) la filtrazione tangenziale.

a) L'osservazione diretta è sufficiente quando le acque sono particolarmente ricche di organismi e quando risultano colorate (marroni, ruggine, verdi ecc.). In generale sarebbe opportuno, prima di utilizzare gli altri due metodi consigliati effettuare una prima analisi diretta in quanto la maggior parte di protozoi e rotiferi possono essere classificati con esattezza solo in vivo.

Porre una goccia d'acqua sopra un vetrino, coprire con coprioggetto ed osservare al microscopio a 100 o più ingrandimenti.

Ripetere almeno dieci osservazioni del campione dopo opportuna sedimentazione o centrifugazione.

b) Procedere alla raccolta di 50 litri di acqua in una tanica di plastica (in alcuni casi si è osservato che possono essere sufficienti dai 10 ai 20 litri). La filtrazione può essere eseguita in laboratorio entro poche ore dalla raccolta.

Le maglie utili per la filtrazione frazionata sono le seguenti:

- rete da 500 μm (raccoglie il materiale più grossolano, insetti, frammenti vegetali e minerali);
- rete da 150 μm (trattiene idraccarini, artropodi di dimensioni minori, rotiferi e materiale inorganico);
- rete da 25 μm (separa nematodi, rotiferi e materiale inorganico).

Il volume d'acqua risultante dalla filtrazione frazionata deve poi essere sottoposto ad una filtrazione su membrana di porosità variabile (1,2 - 1,0 - 0,8 - 0,45 μm).

Il materiale così concentrato può essere osservato a fresco al microscopio in piccole frazioni come in a) o all'invertoscopia utilizzando una capsula Petri quadrata. In caso l'osservazione non sia immediata,

fissare con acido acetico o propionico al 5-15% e formaldeide al 2-5%.

Questo metodo si è dimostrato particolarmente efficace per il rinvenimento di nematodi e rotiferi.

c) La procedura è come in b), ma si differenzia per il tipo di filtrazione utilizzata che in questo caso è tangenziale. Questo metodo si è dimostrato particolarmente utile per il rinvenimento di protozoi che, non subendo una pressione perpendicolare diretta, restano maggiormente integri e quindi più facilmente osservabili ed identificabili.

Bibliografia

BAHLMAN C. - 1931. Larval contamination of a clear reservoir.

11th Annual Rept., Ohio Conf. on Water Purification. State Dept. of Health, Columbus, Ohio, p.56

BAYLIS J.R. - 1957. Microorganism that have caused trouble in the Chicago water system. *Pure Water*, **9**: 47

BELL R.J - 1955. Problems caused by the presence of *Nais* worms and other organism in the public water supply of Norwich. *J. Waterworks Officers Assn.*, **4** (4): 119

BONETTI F., TAMPIERI A. 1968. Su un episodio di contaminazione di un civico acquedotto da parte di nematodi del genere *Mononchus* (Bastian, 1965). *Ann. SCLAVO*, **10**: 410-423.

CHANG S.L., et al. - 1959. Occurrence of a nematode worm in a city water supply. *Jour. AWWA*, **5**: 671

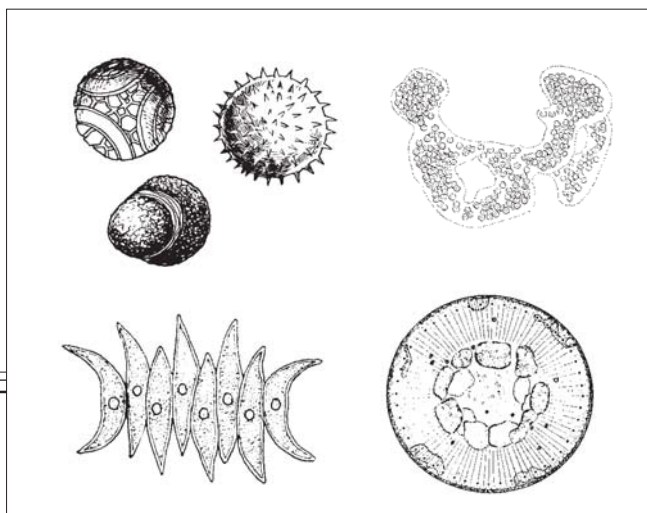
CHANG S.L., et al. - 1960. Survey of free-living nematodes and amebas in municipal supplies. *Jour. AWWA*, **52**: 613

CLARKE K.B. - 1952. The infestation of water works

- by *Dreissensia polymorpha*, a fresh water mussel.
J. Inst. Water Engrs., **6** (5): 370
- COBB N.A. - 1918. Nematodes of the slow sand filter of American City.
Contrib. SC. Nematol., **7**: 189-212.
- COX C.R. - 1946. Laboratory control of water purification.
Case-Shepperd-Mann Publishing Corp., New York.
- CRABILL M.P. - 1956. Biologic infestation at Indianapolis.
Jour. AWWA, **48** (3):269
- DOZSA-FARKAS K. - 1965. Untersuchungen über die Fauna des Budapester Leitungswasser, mit besonderer Berücksichtigung der Nematoden.
Opusc. Zool. Budapest, **5**: 173-181.
- GERARDI M.H., GRIMM J.K. - 1982. Aquatic invaders.
Water Engineering & Management, October: 22-23
- GREESHIELD F., RIDLEY J.E. - 1957. Some researches on the control of mussels in water pipes.
J. Inst. Water Engrs., **11** (3):300
- KELLY S.N. - 1955. Infestation of the Norwich, England, Water system.
Jour. AWWA, **42**: 330
- HART K.M. - 1957. Living organism in public water mains.
Jour. Inst. Munic. Engrs., **83** (10): 324
- HECHMER C.A. - 1932. Chironomus in water supply.
Jour. AWWA, **24**: 665
- HOBBS A.T. - 1950. Manual of British water supply practice.
Inst. of Water Engrs., W. Heffer & Son Ltd., Cambridge, England.
- HUQ A., et al. - 1983. Ecological relationships between *Vibrio colerae* and planktonic Crustacea Copepods.
Appl. Env. Microbiol., **45** (1): 275
- INGRAM W.M. - 1956. Snail and Clam infestations of drinking water supplies.
Jour. AWWA, **43**: 258
- INGRAM W.M., BARTSCH A.F. - 1960. Operators identification guide to animals associated with potable water supplies.
Jour. AWWA, **47**: 1521-1550
- LEVY R.V., et al. - 1984. Novel method for studying the public health significance of macroinvertebrates occurring in potable water.
Appl. Env. Microbiol., **47** (5): 889
- LEVY R.V., et al. - 1986. Occurrence and public health significance of invertebrates in drinking water systems.
Jour. AWWA, **73**: 105
- LUPI E., 1987. Valutazione quantitativa dei nematodi in un impianto di potabilizzazione di acque superficiali e loro significato da un punto di vista igienico-sanitario.
Università degli Studi di Firenze. Tesi di Biologia: 132 pp.
- MACKENTUM K.M., KEUP C.E. - 1970. Biological problems encountered.
J. AWWA, August: 520-526
- MORGAN A.H. - 1930. Fieldbook of ponds and stream.
G.P. Putnam's sons, New York.
- MOTT J.B., HARRISON A.D. - 1983. Nematodes from river drift and surface drinking water supplies in southern Ontario.
Hydrobiologia, **102**: 27-38.
- MOTT J.B., MULAMOOTIL G., HARRISON A.D. - 1982. A 13-month survey of nematodes at three water treatment plants in southern Ontario, Canada.
Water Res., **15**: 729-738.
- PENNAK R.W. - 1949. Annual limnological cycles in some Colorado reservoir lakes.
Ecol. Monographs, **19**: 233

- PENNAK R.W. - 1953. Fresh-water invertebrates of the United States.
Ronald Press, New York.
- ROGICK M.D. - 1959. Bryozoa.
In Ward & Whipple's "Fresh-Water Biology", *John Wiley & sons*, New York (2nd ed.)
- ROMAN J., RIVAS X. - 1971. Nematode contamination in tap water.
Nematologica, **1**: 39.
- SILVEY J.K.G. - 1960. Bloodworms in distribution system.
Jour. AWWA, **48**: 275
- SMERDA S.M., JENSEN H.J., ANDERSON A.W. - 1971. Escape of *Salmonella* from chlorination during ingestion by *Pristionchus lheritieri* (Nematoda Diplogasterinae).
J. Nematol., **3**: 201-204.
- SMITH P.C., VAN MIEGEM A.P. - 1983. First report of the occurrence of nematodes in municipal water in South Africa.
Phytophylactica, **15**: 79.
- STREBLE H., KRAUTER D. - 1984. Atlante dei microrganismi acquatici. La vita in una goccia d'acqua.
Franco Muzzio Ed., Padova.
- TOMBES A.S., ABERNATHY A.R., WELCH D.M., LEWIS S.A. - 1979. The relationship between rainfall and nematode density in drinking water.
Water Res., **13**: 619-622.
- WHO - 1992. Revision of the WHO guidelines for drinking water quality.
Medmenham, U.K., 27-29 January, 1992.

BIOCORROSIONE



PARTICOLATO ABIOTICO E MICROFITE RINVENIBILI NELLE RETI ACQUEDOTTISTICHE

Laura Mancini^(*), Laura Volterra^(*)

Le acque condottate contengono sempre una minima quantità di solidi sospesi non tutti di origine biotica che possono derivare dalla captazione (granuli di quarzo, di sabbia o di calcare) o essere introdotti nelle tubature a seguito di opere di manutenzione o riparazione. A volte possono essere prodotti da batteri installati nella rete come, ad esempio, gli idrossidi di ferro e di manganese prodotti dai ferrobatteri e le sostanze colloidali derivanti dalle SPE (Sostanze Polimeriche Extracellulari). Possono essere presenti anche residui di aggregati prodotti nel corso dei processi di potabilizzazione (chiariflocculazione).

Le acque, inoltre, se stivate in serbatoi non sufficientemente protetti, possono arricchirsi di sostanze aerotrasportate che contengono composti inorganici, pollini e frammenti vegetali.

Qui di seguito si riportano alcune caratteristiche degli elementi includibili nel particolato.

Sostanze colloidali

Hanno consistenza ed apparenza mucosa. Possono essere costituite da materia organica (lo stesso SPE dei batteri o gli escreti di alcune alghe) od inorganica (idrossido di ferro). Presentano caratteristiche intermedie tra quelle dei sali (solubili) e quelle delle sostanze insolubili.

Gli aggregati mucosi sono in genere ritenuti nelle frazioni più grossolane a seguito di filtrazione su setacci con pori da 500-150 μm ; più raramente in filtri con pori di dimensioni inferiori.

Al microscopio la loro morfologia, semmai ne abbiano una, è meglio rilevabile in contrasto di fase.

Sostanze colorate

Il colore "apparente" dipende dalle caratteristiche del materiale particolato mentre quello "reale" è il colore proprio dell'acqua dovuto alla luce assorbita da quanto è in soluzione. Le acque potabili sono per definizione "incolori", tuttavia, concentrando grandi volumi (10-50 L di acqua) si possono mettere meglio

^(*) Istituto Superiore di Sanità - Roma

in evidenza colorazioni legate ai solidi sospesi inorganici e biologici.

Le acque possono risultare colorate per cause diverse quali:

- presenza dei composti del ferro e del manganese allo stato colloidale (in tal caso appaiono rosse o brune);
- decomposizione di sostanze organiche quali acidi umici e tannini (color terra);
- sviluppo di microrganismi che possono dare caratteristiche colorazioni;
- microfite presenti in acque superficiali e non completamente trattenute nella filiera di potabilizzazione.

Il colore di un'acqua potabile si può generare anche in rete. Nel caso di biocorrosione delle tubature i microrganismi eseguono una ossidazione del Fe^{2+} a Fe^{3+} , formando precipitati di ferro che impartiscono colore rossiccio all'acqua. Se i tubi sono realizzati in rame l'effetto corrosivo, darà luogo invece ad acqua di colore blu.

Granuli minerali

Possono essere di diverse dimensioni, colori e natura. Nelle acque potabilizzate si può ritrovare una componente inorganica che proviene dal dilavamento dei suoli e dalla litologia del sito della captazione (sabbiosa, argillosa, ecc.), costituita da ossidi di ferro e di alluminio, idrossidi di quarzo, silicati amorfi, carbonati, feldspati etc.

Il quarzo o ossido di silicio (SiO_2) è un minerale molto comune, talvolta incolore e trasparente, ma alcune volte colorato in rosso, giallo, violetto o verde per effetto di impurità. È un costituente di numerosi tipi di roccia (rocce eruttive acide, sabbie, arenarie, rocce metamorfiche) ed è la componente inorganica maggiormente presente con diverse dimensioni e colori.

Il calcare è una roccia sedimentaria costituita da carbonato di calcio ($CaCO_3$) che può essere di diversa origine (chimica, organica o detritica).

Frazioni miste di suolo comprendono componenti inerti classificate secondo la Società Italiana della Scienza del Suolo (S.I.S.S.) in:

Sabbia grossa: mm $0,2 < o < 2$ mm

Sabbia fine: mm $0,02 < o < 0,2$ mm

Limo: mm $0,002 < o < 0,02$ mm

Argilla: $0 < 0,002$ mm

Accanto a questi solidi di derivazione esterna, ferro, rame e zinco sono stati frequentemente segnalati in reti acquedottistiche e derivano da fenomeni di corrosione delle tubature.

I granuli minerali si rinvencono nelle frazioni di acqua filtrata su vagli grossolani (500-150 μ m); solo raramente sabbie ed argille sono presenti su filtri a minore porosità. All'osservazione microscopica appaiono particolarmente rifrangenti e dotati di spigoli e facce caratteristiche del minerale.

Tubercoli

Sono stati osservati frammenti di tubercoli provenienti dai tubi corrosi a cui erano associati ferrobatteri. Si presentano come scaglie di colore rossastro di piccole dimensioni trattenute dai setacci di 500-150 μ m.

Residui vegetali

In quasi tutti i campioni di acqua concentrata possono essere osservati frammenti vegetali e frazioni legnose. Sono facilmente identificabili perché si presentano con un aspetto sfilacciato ed alcune volte al microscopio o all'invertoscopia a 100x si osserva la parete e la forma caratteristica della cellula vegetale.

Essendo di diverse dimensioni, sono rinvenibili in tutti i vagli utilizzabili per la concentrazione di acqua.

Pollini

L'impossibilità di isolare totalmente l'acqua dal contatto con l'aria fa sì che spesso nei concentrati siano presenti pollini di diverse specie, soprattutto anemofile.

Per la loro dimensione, sono trattenuti da filtri con pori da 500-150-25 μ m.

Microfite

Le microfite sono organismi tipici degli ambienti idrici. Non solo derivano da acque superficiali, ma possono anche essere presenti, seppure in minore quantità, in acque di falda. Possono ricolonizzare un'acqua al punto di captazione, dentro i serbatoi, o dovunque si possa stabilire un contatto con l'aria.

Molte di esse vengono trasportate nell'atmosfera sotto forma di cisti e ormogoni.

La loro presenza è frequente nei vagli con maglie di diametro 500-150 μm , ma possono anche essere osservate a minori dimensioni, comunque mai al di sotto di 1.2-0.45 μm .

Le microfite rilevati in reti di distribuzione sono riportate in tabella 1.

Una volta che le alghe entrano in rete o in serbatoi possono rimanere vitali e riprodursi: *Scenedesmus*, *Euglena*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Coelastrum*, *Chlorococcum* si moltiplicano anche al buio purché sia disponibile sostanza organica. Le alghe, pertanto, non devono essere considerate esclusivamente autotrofe. Molte di esse possono, in particolari condizioni, optare per cicli autotrofi od eterotrofi; alcune di esse sono classificabili come eterotrofe obbligate, nel senso che necessitano, per crescere, di molecole organiche che esse stesse non sono in grado di produrre. Solo poche alghe sono autotrofe obbligate.

Le alghe in rete possono resistere al cloro residuo di copertura (in genere 0,2 mg/L) e alcune di esse sono particolarmente resistenti a questo biocida: è il caso di *Closterium*, *Cosmarium*, *Gomphosphaeria*, *Chlorella*, *Elaktothrix*.

Una volta in rete, al buio, debbono utilizzare sistemi eterotrofici di sopravvivenza: si possono nutrire di batteri (fagotrofia) o di escreti/secreti degli stessi, così come quelli di chironomidi, nematodi e di altri organismi indesiderati. A loro volta, le alghe costituiscono nutrimento per i predatori dell'ecosistema rete e secerono o rilasciano molecole utili alla vita microbica.

Nell'acqua potabile, le alghe possono influenzare i caratteri organolettici grazie alla produzione di geosmina, metil-iso-borneolo e una congerie di idrocarburi lineari e, a volte, aromatici.

Una volta in rete, le alghe si innestano nei processi di corrosione producendo ossigeno che depolarizza i sistemi anodo/catodo prodotti dai batteri.

La produzione ed il rilascio di acidi (ac. carbonico, silicico, ossalico) aiuta il processo di disintegrazione di molti materiali compreso il cemento.

Alcune alghe possiedono efficienti strategie di adesione a qualsiasi superficie e/o manufatto. Tra le cianoficee basti citare *Oscillatoria*, e *Microcystis*; tra le cloroficee: *Chlorella*, e *Pediastrum*, tra le diatomee: *Cyclotella* e *Navicula*; tra le flagellate: *Euglena* e *Synura*.

Tab. 1- Alghe persistenti nei sistemi di distribuzione (da PALMER, C.M., 1962. *Algae in water supply. Publ. n. 657 U.S. Publ. Health. Serv., Washington D.C.*)

Genere	Alghe
<i>Anabaena</i>	Blu-verdi
<i>Anacystis</i>	Blu-verdi
<i>Aphanizomenon</i>	Blu-verdi
<i>Asterionella</i>	Diatomee
<i>Chlamydomonas</i>	Verdi
<i>Chlorella</i>	Verdi
<i>Chlorococcum</i>	Verdi
<i>Closterium</i>	Diatomee
<i>Coelastrum</i>	Verdi
<i>Cosmarium</i>	Verdi
<i>Cyclotella</i>	Diatomee
<i>Cylindrospermopsis</i>	Blu-verdi
<i>Dinobryon</i>	Flagellate
<i>Elaktothrix</i>	Verdi
<i>Epithemia</i>	Diatomee
<i>Euglena</i>	Verdi
<i>Fragilaria</i>	Diatomee
<i>Gomphosphaeria</i>	Blu-verdi
<i>Microcystis</i>	Blu-verdi
<i>Oscillatoria</i>	Blu-verdi
<i>Navicula</i>	Diatomee
<i>Nodularia</i>	Blu-verdi
<i>Nostoc</i>	Blu-verdi
<i>Pediastrum</i>	Verde
<i>Phormidium</i>	Blu-verdi
<i>Scenedesmus</i>	Verdi
<i>Spirogyra</i>	Verdi
<i>Synedra</i>	Diatomee
<i>Synura</i>	Verdi
<i>Tabellaria</i>	Diatomee
<i>Tribonema</i>	Diatomee

BIOCORROSIONE



METODI DI PREVENZIONE E CONTENIMENTO DI BIOFILM E BIOFOULING

Laura Volterra^(*)

Il sistema migliore per controllare i fenomeni biocorrosivi nelle condotte idriche sta in un'efficace strategia di prevenzione atta ad impedire l'insediamento del biofilm. A tal fine occorre intervenire sui fenomeni di condizionamento delle superfici interne dei tubi, di adesione e replicazione degli eterotrofi sopravvissuti alla potabilizzazione, di riduzione del carbonio organico assimilabile (COA) e dei nutrienti nell'acqua potabile, di coibentazione delle tubature per evitare che si surriscaldino in estate, di mantenimento dell'acqua in pressione e in circolazione costante.

L'eliminazione della sostanza organica nel corso dei trattamenti di potabilizzazione è una tappa importantissima per impedire una rigogliosa ricrescita batterica in rete. Si deve infatti sempre tenere presente che l'acqua non è sterile e che le condizioni primarie (proprie dell'acqua e dei materiali) o secondarie (indotte in rete da rotture, stagnazioni, flussi alterni, ecc.) stimolano lo sviluppo di germi copiotrofi

ed oligotrofi in funzione della quantità di COA disponibile. Nel caso di acque superficiali eutrofe soggette a blooms algali occorre rimuovere quanto più possibile le microfite, fonte di materia organica sia durante il ciclo vitale che dopo la morte.

Ai fini della prevenzione della ricrescita e della costituzione del biofouling occorre obbligatoriamente mantenere alti i valori di cloro residuo combinato dell'acqua condottata. I biofilm più maturi sono tuttavia più resistenti al cloro di quelli più giovani: l'aumentata presenza di batteri e di SPE inattiva il cloro oltre a selezionare forme microbiche sempre più resistenti al biocida.

Dosi superiori a 4 mg/L di cloro residuo totale non riescono ad inattivare il biofilm. Occorre salire almeno a 6 mg/L di cloro residuo libero. In una rete con alta concentrazione di materia organica, come si verifica in tubature rivestite di biofilm, si ha la formazione di cloro combinato e conseguente sviluppo di caratteri organolettici sgradevoli dovuti alla formazione di triclorammine e diclorammine.

^(*) Istituto Superiore di Sanità - Roma

Per alcuni Autori è importante avere titoli alti di cloro residuo libero fino ai terminali della rete per altri è meglio generare un cloro residuo combinato sotto forma di monoclorammina in quanto, pur essendo meno efficace, è più persistente ed agisce più in profondità assicurando tempi lunghi di contatto con concentrazioni di 2 mg/L di cloro residuo.

Una volta accertata la presenza di fenomeni di biocorrosione, occorre risanare la condotta mediante metodologie chimiche e/o fisico-meccaniche.

I prodotti chimici maggiormente utilizzati per l'eliminazione del biofouling appartengono sostanzialmente a 3 gruppi: tensioattivi, acidi e disinfettanti.

- I tensioattivi, in cui rientrano i fosfati a catena lunga, i fosfati di sodio, il tripolifosfato di sodio e l'esametafosfato di sodio, agiscono come umettanti, sequestranti del ferro in soluzione e disperdenti delle sostanze polimeriche extracellulari prodotte da molti

microrganismi. Inoltre queste sostanze usate in concentrazioni del 3% aumentano di 10-100 volte il potere biocida dei disinfettanti.

- Nella categoria degli acidi rientrano l'acido cloridrico, l'acido sulfamico, l'acido idrossiacetico. Servono per solubilizzare i depositi di idrossido di ferro e coadiuvano nell'opera di dispersione delle sostanze polimeriche extracellulari incrementando l'effetto dei disinfettanti.

L'acido cloridrico è esso stesso un biocida oltre a fungere da chelante mantenendo il ferro in soluzione. Si applicano in dosi variabili tra 7,5 e 21% con periodi di contatto di 6-24 h.

- Infine, tra i disinfettanti si includono tutti i composti a base di cloro che esplicano effetto biocida. Si usano in titoli da 250 a 10.000 mg/L (in genere 1.000 mg/L) mantenendo un contatto per 18-24 h (HACKETT, 1987).

Bibliografia

HACKETT G. 1987. A review of chemical treatment strategies for iron bacteria in wells.
Water Works J.: 37-42.