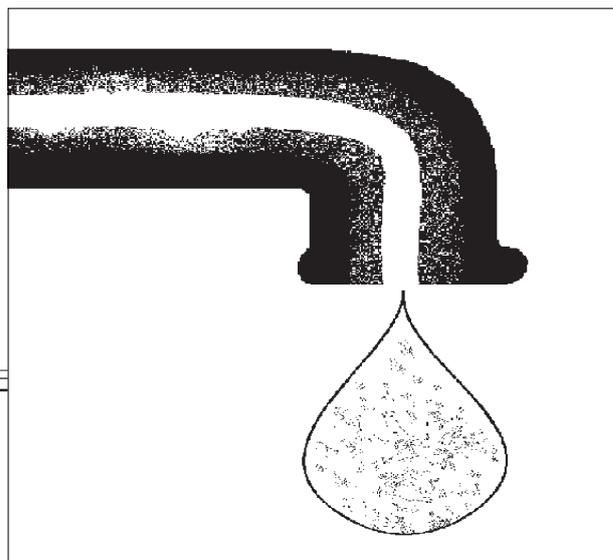


BIOCORROSIONE



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.