

Batteri, virus ed altri patogeni possono proliferare in impianti industriali e municipali dove vengono utilizzati acqua od altri liquidi. Se incontrastati, questi microorganismi colonizzano rapidamente tutte le superfici a contatto con il liquido, dando origine al fenomeno del biofilm. All'interno di questo ambiente melmoso, i batteri ed altri patogeni trovano il luogo ideale per sopravvivere e riprodursi. Infatti, **il 90% dei batteri totali vive nel biofilm, e non libero nel liquido**. Di conseguenza, **questo strato microbico è la principale fonte di rischio biologico nelle acque**. Sono diversi i problemi che possono sorgere dalla crescita di biofilm su tubature ed altre superfici, compresi corrosione, guasti ad attrezzature, perdite energetiche, prestazioni ridotte ed aumento del consumo di energia. Inoltre, la crescita di biofilm porta all'insorgere di resistenza ai trattamenti. Infatti, la comunità batterica che vive nel biofilm è avvolta dalle EPS (sostanze polimeriche extracellulari), le quali fungono da protezione dall'azione dei biocidi. Di conseguenza, **la rimozione del biofilm è considerevolmente più difficile rispetto all'eliminazione dei batteri liberi nel liquido** (Fig. 1). Inoltre, il biofilm favorisce la proliferazione di patogeni quali *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Listeria*, i quali sono potenziali responsabili di pericolose epidemie. **Nessun impianto idrico può essere considerato sicuro finché vi è biofilm**. Per tutte queste ragioni, è molto importante rimuovere questa melma batterica. Ciò può essere fatto per mezzo di appropriati protocolli di sanificazione, basati su biocidi.

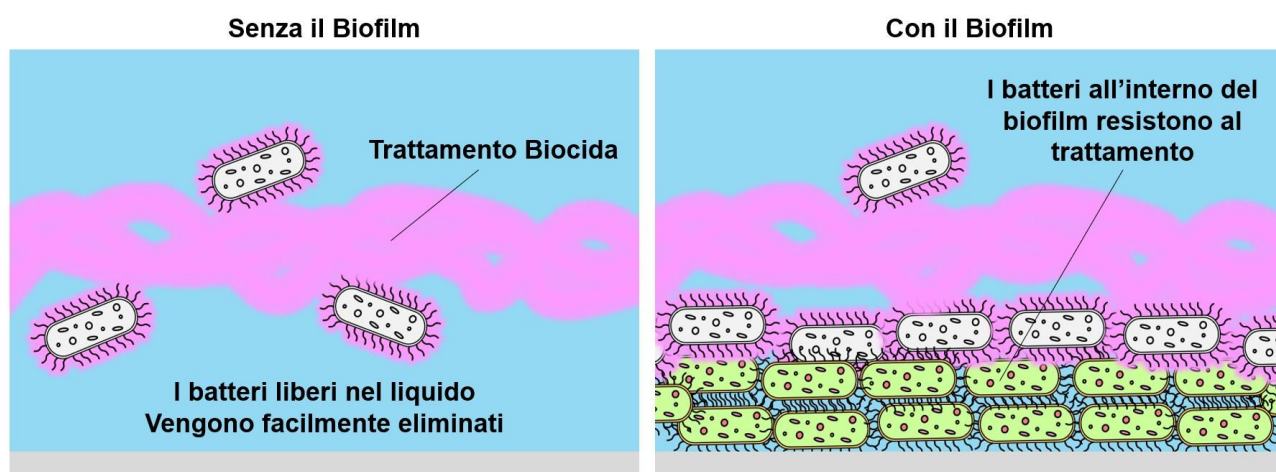


Figura 1: Resistenza ai trattamenti di sanificazione causata dal biofilm

I biocidi rappresentano agenti chimici e formulazioni utilizzati per controllare ed eliminare microorganismi dannosi. Un appropriato protocollo biocida è una componente importante del programma di mantenimento di ogni impianto idrico municipale o industriali. Sia lo stoccaggio che l'applicazione di biocidi sono altamente regolamentati; lo stesso vale per gli scarichi ambientali dei prodotti ancora attivi o dei relativi sottoprodotti. Negli Stati Uniti, l'Ente di Protezione Ambientale (EPA) regola i biocidi come 'pesticidi antimicrobici' come riportato nel FIFRA (Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act). L'Unione Europea, invece, adotta una diversa regolamentazione, la Biocidal Product Regulation (BPR). Più in generale, in tutti i paesi, le regolamentazioni cui sono soggetti i biocidi sono continuamente oggetto di discussione, implementazione e aggiornamento, come è avvenuto, nel 2020, per le sostanze che alterano il sistema endocrino (Endocrine Disrupting Chemicals, EDC).

Un vasto numero di biocidi diversi e relative formulazioni è disponibile sul mercato. Vi sono numerosi parametri da tenere in considerazione nella selezione di un trattamento biocida, a seconda

dell'applicazione specifica. Il rapporto costo-efficacia, la compatibilità con i sistemi, i tempi ed i metodi di dosaggio, le precauzioni e l'impatto ambientale, dovrebbero essere valutati con attenzione durante il processo di selezione. Ciononostante, è molto importante sottolineare che **ogni impianto idrico è unico, e quindi l'efficacia del protocollo non può essere esattamente anticipata**. A questo proposito, **il monitoraggio del biofilm online ed in real-time è il miglior approccio per valutare l'efficacia di un trattamento di sanificazione** (Fig. 2). Le Tecnologie ALVIM per il Monitoraggio del Biofilm offrono soluzioni efficienti per l'ottimizzazione del protocollo biocida, sulla base dei bisogni reali e specifici.

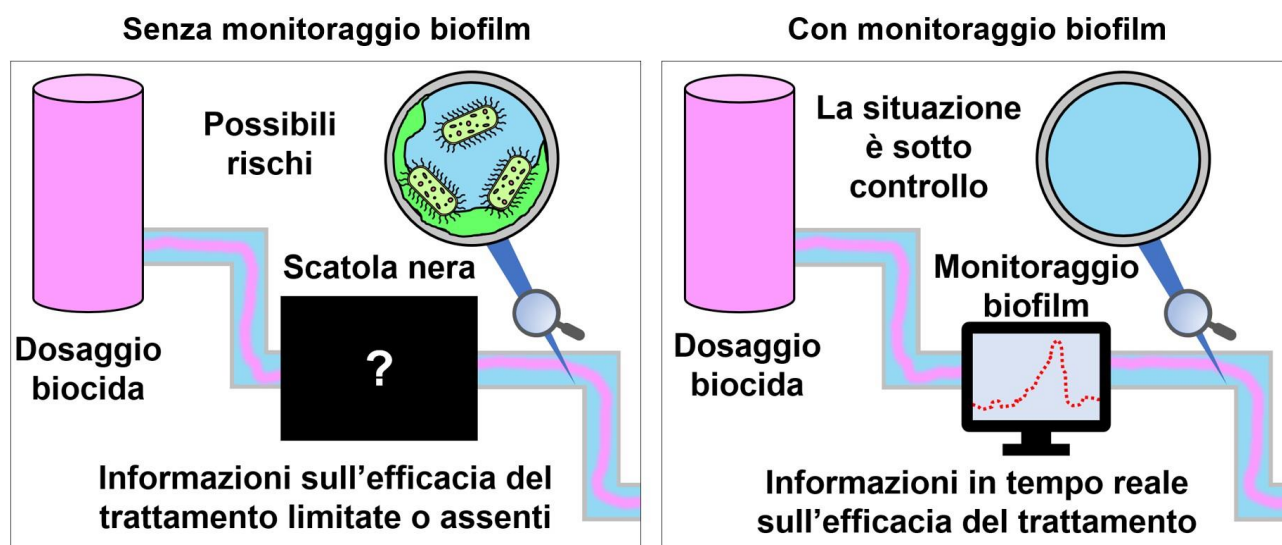


Figura 2: Importanza del monitoraggio biofilm per valutare l'efficacia del protocollo di sanificazione. Maggiori informazioni su questo argomento sono disponibili all'indirizzo <http://www.alvim.it>

I biocidi sono spesso classificati in due ampie categorie: **biocidi ossidanti (BO)** e **biocidi non ossidanti (BNO)**. Il meccanismo di azione, i principi di applicazione, i metodi di monitoraggio, e le risposte alle contaminazioni di sistema, differiscono notevolmente tra i due gruppi. **I Sensori ALVIM permettono di rilevare sostanze ossidanti, inclusi i BO, in aggiunta alla crescita di biofilm**. Di conseguenza, per mezzo di questa tecnologia, è anche possibile monitorare in maniera conveniente sia il dosaggio che la distribuzione dei biocidi, e quindi identificare potenziali problemi relativi al trattamento.

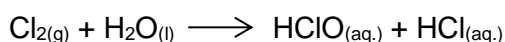
Biocidi ossidanti

L'utilizzo di BO è la soluzione più ampiamente utilizzata per la disinfezione nel settore del trattamento acque. Il cloro ed i suoi derivati (acido ipocloroso, ipoclorito, ecc.), il diossido di cloro, il bromo ed i suoi derivati (bromuri attivi, cloruri stabilizzati di bromo, iporbormiti, ecc.), l'ozono, l'acqua ossigenata e l'acido peracetico sono i BO più comunemente utilizzati. Questi composti sono caratterizzati da un ampio spettro di attività su una vasta gamma di microorganismi. I BO sono tipicamente di rapida azione; essi sono caratterizzati da molteplici modalità di disattivazione dell'attività dei microbi. Per questa ragione, essi non sono soliti indurre fenomeni di resistenza. Questi composti sono molto efficaci anche a concentrazioni relativamente basse. Questa proprietà li rende molto convenienti, il che, anche grazie alla loro elevata efficacia, spiega perché questi agenti chimici sono largamente utilizzati in tutti i settori industriali.

I BO sono generalmente molto reattivi. Di conseguenza, questi composti sono molto suscettibili alla domanda ossidante del sistema: essi possono interagire con i contaminanti, gli additivi e le sostanze organiche presenti nel processo. Infatti, un'alta reattività tipicamente comporta una scarsa selettività; ne consegue che i BO vengono largamente consumati dai sistemi idrici. Per questa ragione, questi biocidi sono comunemente impiegati in eccesso, in modo da lasciare un residuo attivo nell'acqua, e quindi garantire un effetto persistente. A causa delle loro proprietà ossidanti, i BO possono indurre fenomeni di corrosione nei sistemi in cui vengono applicati. Per ovviare a questo problema, diversi inibitori di corrosione vengono comunemente integrati nel trattamento, ma la loro interazione con i BO deve comunque essere sempre presa in considerazione. I fosfonati, per esempio, i quali vengono largamente utilizzati come inibitori di corrosione e delle incrostazioni, interagiscono chimicamente con la maggior parte dei BO, portando alla disattivazione sia del biocida che dell'inibitore. Per di più, i BO sono in genere sensibili a variazioni di temperatura e pH.

Cloro e derivati

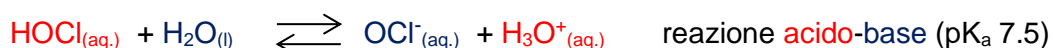
La clorazione dell'acqua a fini di sanificazione viene utilizzata da oltre un secolo. Essendo al tempo stesso uno degli agenti chimici più efficaci e più economici contro i patogeni presenti nell'acqua, il cloro è stato estensivamente utilizzato nella storia del trattamento acque. L'azione disinfettante del cloro non è direttamente correlata a quella della molecola gassosa, ma piuttosto ai sottoprodotti che derivano dalla sua reazione di idrolisi. Infatti, una volta disciolto in acqua, il cloro gassoso si trasforma rapidamente in acido ipocloroso (HClO) ed acido cloridrico (HCl).



A causa dell'incremento di acidità della soluzione, dovuto alla liberazione di acido cloridrico, l'uso del cloro comporta in genere alte velocità di corrosione. Inoltre, a causa della sua elevata reattività chimica, il dosaggio di cloro porta alla generazione di DBP (Disinfection By-Products) che sono tossici in acqua. Queste sostanze, che includono THM (tetraalometano), HAA (acido aloacetico), clorofenoli ed altri AOX (alogenuri organici assorbibili), sono fortemente nocivi nei confronti dell'ambiente, e quindi il loro rilascio dovrebbe essere evitato. Per di più, i derivati del cloro sono volatili, e possono allontanarsi dal sistema per degassificazione. Per queste, ed altre ragioni, che includono le forti misure cautelari adoperate nell'industria in merito allo stoccaggio e maneggiamento del gas, il cloro molecolare è scarsamente utilizzato oggi.

Cloro libero

Diversi metodi per il dosaggio di **cloro libero** in acqua sono comunemente impiegati per sostituire l'uso diretto di cloro gassoso. Il termine cloro libero si riferisce alla contestuale presenza in acqua di due specie chimiche: l'acido ipocloroso e la sua base coniugata, l'anione ipoclorito (OCl⁻). Queste due specie costituiscono una coppia acido-base; di conseguenza, il rapporto delle loro concentrazioni in acqua è controllato dal pH e dalla temperatura.



Queste condizioni del sistema influenzano non solo la composizione, ma anche l'efficacia biocida del cloro libero. Infatti, nella maggior parte degli ambienti industriali, i livelli di pH variano tra la neutralità ed una lieve alcalinità. In queste condizioni, l'anione ipoclorito, che è fino a 100 volte meno efficace rispetto al suo acido coniugato, è la specie chimicamente favorita. Anche le sostanze chimiche disciolte in acqua, presenti come contaminanti, od utilizzate come additivi di processo, possono influenzare l'attività disinfettante del cloro libero. Sia l'acido ipocloroso che l'anione ipoclorito reagiscono prontamente con l'ammoniaca ed altri composti azotati, portando così alla formazione delle clorammine. Mono-, di- e tri- clorammine costituiscono il cosiddetto **cloro combinato**. L'efficacia biocida generale del cloro combinato è inferiore di ordini di grandezza rispetto a quella del cloro libero.

Nonostante ciò, la monoclorammina (il principale costituente del cloro combinato nelle più comuni condizioni operative) viene utilizzata come biocida, grazie alla sua abilità di penetrazione nei confronti del biofilm, superiore a quella del cloro libero, il quale invece ha solo uno scarso effetto. Molte reti di distribuzione idrica (specialmente quelle situate negli Stati Uniti) fanno uso di clorammine come disinfettanti lungo l'intero sistema. Questa formulazione biocida, comunemente ottenuta per aggiunta di ammoniaca al cloro libero, consente di ottenere un residuo attivo duraturo. Per di più, riducendo l'interazione del cloro libero con le sostanze organiche, essa comporta una minore formazione di DBP. Nonostante i metodi di trattamento a base di cloro libero siano molto più comuni rispetto a quelli a base cloro combinato, il contributo residuo viene comunemente monitorato come **cloro totale residuo**. Informazioni più dettagliate sul cloro residuo totale, la sua relazione con la crescita di biofilm e le relative procedure di sanificazione possono essere trovate in [un altro white paper ALVIM](#).

Esistono diversi approcci alla disinfezione dell'acqua per mezzo di cloro libero. Comunemente, una soluzione concentrata di ipoclorito viene diluita e dosata nel sistema. Questo metodo è semplice ed efficiente, ma la alta concentrazione della soluzione iniziale può recare alcuni svantaggi, come la compromissione dell'accuratezza delle pompe di dosaggio o la più rapida decomposizione dei substrati di partenza. Questi problemi possono essere evitati utilizzando formulazioni solide, le quali consistono, comunemente, in pastiglie di ipoclorito di calcio. Anche se questo approccio garantisce una più lunga stabilità e conservabilità del biocida, esso richiede apparecchiature dedicate sia per la preparazione che per la miscelazione delle soluzioni prima del dosaggio. Un approccio più avanzato è rappresentato dai sistemi di generazione di ipoclorito in-situ (On Site Hypochlorite Generation, OSHG), i quali permettono di generare cloro libero, a partire da semplici materiali di partenza, come il cloruro di sodio, per via elettrolitica. In questo caso, la soluzione biocida viene prontamente dosata nel sistema, evitando così qualsiasi processo di decomposizione o problema di sicurezza. Altre tecniche, basate sullo stesso principio, e note come 'Mixed Oxidant Solutions' (MOS), sono indirizzate a requisiti più specifici, come ad esempio una maggiore penetrazione del biofilm, che è possibile grazie alla generazione di formulazioni più complesse e potenti. Entrambi gli approcci hanno come inconveniente la generazione di idrogeno come sottoprodotto potenzialmente pericoloso. In alcune altre applicazioni, uno stabilizzante, che tipicamente consiste in una piccola molecola organica, viene aggiunto alla formulazione del cloro libero, in modo da rendere le sue proprietà biocida più efficaci. Per mezzo di questo metodo, è possibile incrementare la stabilità delle specie attive, e quindi garantire migliori prestazioni, inclusa la rimozione del biofilm.

Infatti, molti biocidi, incluso il cloro libero, non sono in grado di penetrare efficacemente il biofilm a causa della loro eccessiva reattività nei confronti dello strato di EPS. Al contrario, le forme stabilizzate di cloro libero sono sufficientemente stabili da penetrare lo strato microbico ed uccidere i batteri presenti al suo interno (Fig. 3). Anche se questo sistema permette di ridurre ed ottimizzare l'uso del cloro libero, lo smaltimento di queste sostanze stabilizzanti può avere un impatto ambientale non trascurabile.

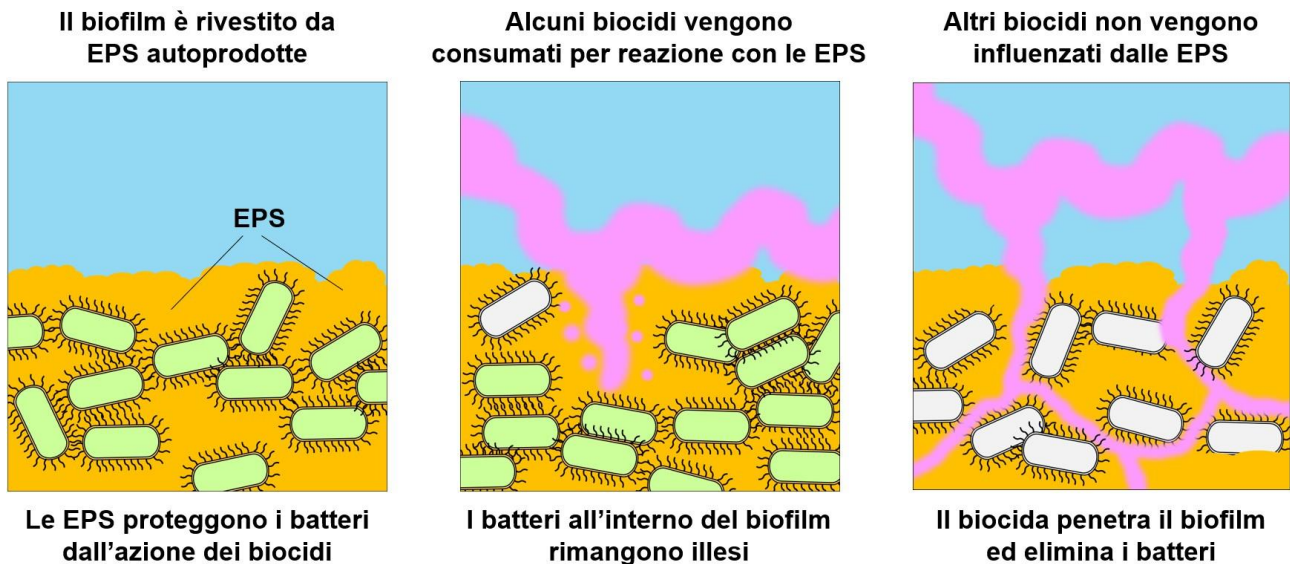


Figura 3: La capacità del biocida di penetrare il biofilm è inversamente proporzionale alla sua reattività nei confronti dello strato di EPS

Diossido di cloro

Il diossido di cloro è una molecola gassosa come il cloro, ma non è soggetta alla sua stessa reazione di idrolisi in acqua, dove invece esso è altamente solubile. Questa proprietà chimica costituisce un grande vantaggio poiché, diversamente dal cloro, questo biocida è stabile in un ampio intervallo di pH (3÷10). Inoltre, grazie alle sue diverse modalità di azione, i batteri non riescono a sviluppare alcuna resistenza verso di esso. Nonostante sia potenzialmente pericoloso ed esplosivo ad elevate concentrazioni, il diossido di cloro può essere utilizzato in sicurezza alle concentrazioni relativamente basse che si usano nel settore del trattamento acque. In questo contesto, il diossido di cloro è utile per diverse applicazioni oltre alla disinfezione, per esempio nel controllo degli odori o la distruzione dei contaminanti. In questo risulta simile al cloro, poiché viene coinvolto in numerose reazioni chimiche. Ciononostante, il diossido di cloro è caratterizzato da una minore e più controllata reattività e, quindi, da una maggiore selettività, rispetto al cloro libero. Per questo motivo, esso è più efficace, ed è in grado di rilasciare dei residui attivi superiori, anche quando dosato a concentrazioni inferiori (Fig. 4). Nonostante il diossido di cloro sia un biocida selettivo, esso interagisce comunque con le specie chimiche che danno luogo alla 'domanda ossidante' del sistema idrico. Infatti, molti composti comunemente presenti in acqua possono reagire con il diossido di cloro, consumandolo. Per questa ragione, è fortemente consigliato di controllare la reale efficacia di questo (e altri) sistemi di sanificazione, ad esempio utilizzando tecniche di monitoraggio di biofilm. Oltre la sua maggiore selettività chimica, il diossido di cloro è caratterizzato da tre ulteriori vantaggi. In primo luogo, esso è più efficace nel rimuovere il biofilm, rispetto agli altri BO. Poiché l'interazione con gli EPS non lo consuma, questo biocida può efficacemente penetrare nello strato batterico ed uccidere i microorganismi che vivono al suo interno (come illustrato nella Fig. 3). In secondo luogo, il diossido di cloro porta a minori problemi di corrosione rispetto al cloro libero, a causa del suo minore potenziale ossidante (e quindi una inferiore reattività verso i metalli). Infine, questo biocida non forma DBP clorurati (come fa invece il cloro). Di conseguenza, la sua applicazione ha un minore impatto ambientale, rispetto ad altri agenti chimici utilizzati nel settore.

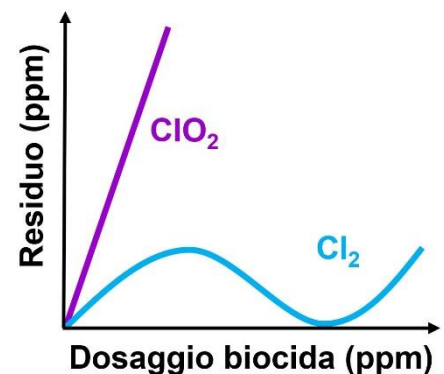
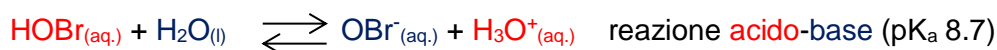


Figura 4: Residui a confronto: ClO₂ VS Cl₂

A causa della sua scarsa stabilità in forma pura, il diossido di cloro necessita spesso di essere generato in-situ; di conseguenza, il suo utilizzo richiede l'adozione di macchinari relativamente costosi. Più recentemente, formulazioni solide per la generazione di diossido di cloro sono state rilasciate sul mercato, ma risultano essere caratterizzate da scarsa stabilità e resa. Inoltre, sia i substrati (cloriti e clorati) che il prodotto attivo sono nocivi per la salute umana, quindi devono essere maneggiati con prudenza. In più, essendo un composto molto volatile, il diossido di cloro può lasciare il sistema per degassificazione, nel caso di sistemi areati (come nel caso delle torri di raffreddamento).

Bromo e derivati

Diversamente dal cloro, il bromo molecolare non viene offerto come biocida in quanto tale, a causa della sua più elevata tossicità e reattività. Per poter mantenere residui efficaci per la disinfezione, sarebbero necessarie concentrazioni di bromo molto elevate. Per queste ragioni, i derivati del bromo non trovano applicazioni nei sistemi di acqua potabile o nelle centrali di produzione alimentare. Ciononostante, diverse formulazioni e sistemi di dosaggio sono stati sviluppati per consentire l'utilizzo di acido ipobromoso (HOBr). Quest'ultimo è un biocida molto potente, che viene utilizzato in diversi ambienti industriali.



Nota: maggiore è il pK_a di un acido, minore è la tendenza alla sua dissociazione in acqua

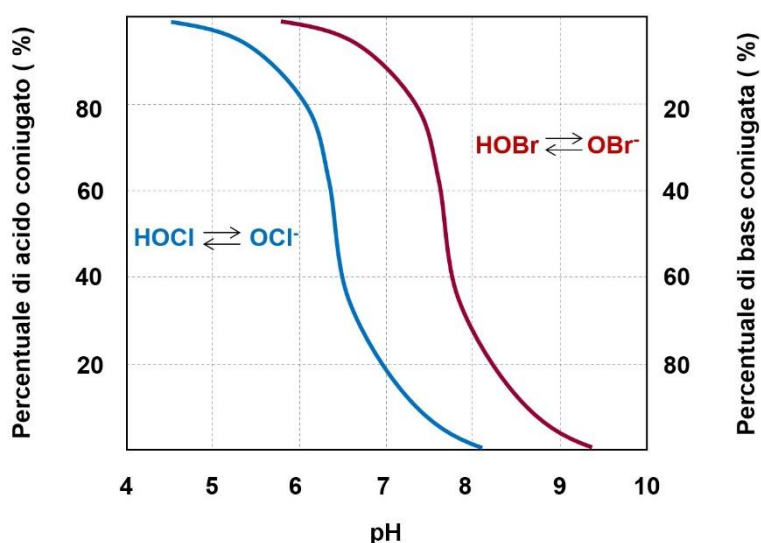


Figura 5: La diversa dissociazione di HOCl e HOBr

Essendo un acido più debole rispetto all'acido ipocloroso, la sua controparte bromurata ha una minore tendenza a dissociare nella rispettiva base coniugata, l'anione ipobromito (OBr⁻), la controparte bromurata dell'anione ipoclorito (Fig. 5). Di conseguenza, per quanto concerne la sua composizione chimica, l'acido ipobromoso risulta essere il principale costituente del bromo residuo. Per questa ragione, le formulazioni biocida a base bromo sono maggiormente efficaci rispetto alle rispettive controparti clorate, specialmente se impiegate a livelli di pH moderatamente alcalini. La natura chimica del bromo è simile a quella

del cloro, in quanto esso è caratterizzato da una elevata reattività nei confronti di una vasta gamma di composti che possono essere presenti in soluzione. A cause della loro elevata reattività, i derivati del bromo sono più efficaci nei confronti dei batteri liberi nel liquido, piuttosto che verso il biofilm.

Le specie costituenti il bromo libero e quello combinato sono generate e monitorate analogamente ai derivati del cloro. Non è necessario eseguire analisi accurate per distinguerle tra loro, in quanto le specie di bromo combinato sono biocidi tanto efficaci quanto l'acido ipobromoso. Il bromo libero viene generato in soluzione acquosa per mezzo di due metodi principali: attivazione di bromuri o stabilizzazione di cloruri di bromo o ipobromiti. Nel primo caso, il bromo libero si ottiene tramite interazione di una soluzione di bromuro di sodio, con un agente attivante, come ad esempio l'ipoclorito oppure l'ozono (per rimescolamento), o tramite l'applicazione di sorgenti di energia dirette (elettrolisi). Nel secondo caso, derivati stabili di bromo vengono direttamente dosati in soluzione.

In questo modo, la tipica elevata reattività degli alogeni liberi viene evitata, in favore di un effetto più stabile e distribuito. Il cloruro di bromo, per esempio, è caratterizzato da convenienti proprietà in termini di stabilità, stoccaggio e maneggevolezza, rispetto alle formulazioni di ipoclorito. Lo stesso vale per le specie di ipobromito, le quali possono essere rilasciate in soluzione per mezzo di derivati organici stabili. Tali composti sfruttano gruppi funzionali basati su atomi di azoto per legare (e stabilizzare) gli atomi di bromo attivi.

Ozono

L'ozono è un gas instabile, che si decompone velocemente in acqua (con un tempo di dimezzamento di 5-20 minuti). Ciononostante, esso è in grado di esercitare un potente effetto biocida su tutti i tipi di organismi, in un tempo di contatto molto breve, grazie al suo elevato potere ossidante. Oltre ad essere scarsamente solubile, l'ozono è solo parzialmente solubile in acqua. In maniera simile a quanto accade per il diossido di cloro, l'ozono abbandona facilmente il sistema per via della sua natura altamente volatile. Per questi motivi, è in genere difficile ottenere un residuo stabile di ozono in acqua. Di conseguenza, per poter garantire la completa sanificazione del sistema, è spesso necessario effettuare molteplici aggiunte in diversi punti del sistema. Essendo un forte ossidante, l'ozono è molto aggressivo verso gli additivi e gli agenti chimici utilizzati nel settore del trattamento acqua, oltre che altamente corrosivo verso i metalli e gli altri materiali costituenti tubature, valvole, guarnizioni, ecc. Come gli alogenuri, l'ozono è troppo reattivo verso le EPS per poter penetrare efficacemente il biofilm. D'altra parte, diversamente dagli alogeni, esso non rilascia DBP nel sistema. Per questa ragione, l'ozono è altamente preferibile per applicazioni nel settore alimentare e, allo stesso tempo, esso è più sicuro, dal punto di vista ambientale, rispetto agli altri BO.

L'ozono necessita di essere generato in-situ, prima dell'uso, per irraggiamento UV o metodi di scarica a corona (questi ultimi rappresentano la soluzione più sicura e

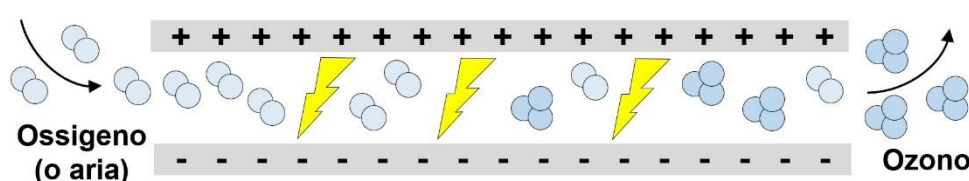


Figura 6: Metodo di generazione di ozono tramite scarica a corona

più largamente adottata in applicazioni industriali). Per generare l'ozono, ossigeno oppure aria devono essere esposti a campi elettrici ad elevata frequenza (Fig. 6). Di conseguenza, si rendono necessari costosi generatori capaci di rimuovere il calore, con tutte le precauzioni che ne derivano, per prevenire i relativi rischi. L'ozono viene spesso impiegato in combinazione con trattamenti UV in applicazioni note come 'processi ad ossidazione avanzata' (Advanced Oxidation Process, AOP). Per mezzo di questi metodi, specie chimiche di breve durata ed elevato potere ossidante, come il radicale ossidrilico, vengono generate per ottenere una più elevata efficacia biocida.

Perossido di Idrogeno ed acido peracetico

Il perossido di idrogeno (H_2O_2) viene utilizzato estensivamente come biocida, in modo particolare in applicazioni igieniche. Ciò avviene poiché, similmente a quanto accade per l'ozono, la decomposizione del perossido di idrogeno non porta alla formazione di tossici DBP. Per questo motivo, questo biocida viene principalmente utilizzato per trattare acqua potabile, impianti alimentari ed applicazioni simili. Nonostante una buona capacità di penetrazione del biofilm, ed una buona efficacia in tutti gli intervalli di pH, il perossido di idrogeno è caratterizzato da un più basso potere biocida rispetto agli altri BO. Di conseguenza, esso viene raramente impiegato come biocida principale all'interno di un trattamento. D'altra parte, esso trova molte applicazioni in combinazione con altri agenti chimici, con il ruolo di incrementare l'efficacia del trattamento e ridurre la generazione di indesiderati DBP.

Il perossido di idrogeno può essere dosato per diluizione di soluzioni concentrate o generato in-situ per mezzo di metodi elettrolitici. L'acido peracetico (peracetic acid, PAA) invece, che è un composto biocida più potente, può essere ottenuto dalla miscelazione del perossido di idrogeno con acido acetico, in presenza di catalizzatori acidi. Nonostante il PAA sia anch'esso un biocida igienico, la sua efficacia viene considerevolmente influenzata dagli ambienti alcalini, rendendolo progressivamente meno efficace ad elevati valori di pH.

Biocidi non-ossidanti

I BNO consistono tipicamente, seppur con alcune eccezioni, in molecole di piccole dimensioni. Diversamente da quanto accade per i BO, questi composti sono in genere compatibili con additivi di processo e materiali organici eventualmente presenti nell'acqua. Infatti, i BNO sono solitamente meno reattivi rispetto ai BO. Mentre i BNO richiedono ore per essere efficaci, i BO sono attivi nell'ordine di minuti. Infatti, i BNO sono caratterizzati da un lungo periodo di conservazione (tipicamente di un anno o più). La loro bassa reattività costituisce una caratteristica conveniente in termini di preservazione dei materiali poiché, ai livelli di utilizzo, i BNO sono considerevolmente meno corrosivi dei BO. L'attività biocida dei BNO è altamente controllabile: poiché molto stabili in soluzione, essi garantiscono un effetto residuo duraturo. In più, i BNO sono molto poco influenzati dalle tipiche variazioni di pH e temperatura che hanno luogo in sistemi idrici industriali. D'altra parte, la loro persistenza in acqua può talvolta portare a problematiche relative al loro scarico nell'ambiente. Ciò è particolarmente importante, considerando che queste sostanze sono generalmente più tossiche nei confronti degli ecosistemi rispetto ai BO. A causa dei loro specifici meccanismi di azione, i BNO sono caratterizzati da una maggiore tendenza ad indurre fenomeni di resistenza. Infine, questi biocidi sono in genere più costosi rispetto ai BO.

Diversi BNO vengono utilizzati nel settore del trattamento acque. Tra quelli più comunemente impiegati e ritenuti più efficaci si annoverano composti quaternari di ammonio e fosfonio (conosciuti come QUATS), derivati di organobromo, isotiazoloni e glutaraldeide.

I QUATS di riferimento sono i cloruri di alchilidimetilbenzil- e didecilmetil- ammonio (ADBAC e DDAC); altri derivati maggiormente ramificati stanno recentemente trovando un grande numero di applicazioni. Questi composti cationici mostrano un'ampia efficacia nei confronti di un vasto numero di microrganismi, ma sono riportati come solo scarsamente efficaci contro la Legionella. I QUATS di fosfonio, come il tetrakis idrossimetilfosfonio solfato (THPS), trovano applicazioni rilevanti in molti settori industriali, incluso specialmente quello petrolifero.

Tra i derivati di organobromo, la 2,2-dibromo-3-nitrilopropionammide (DBNPA) è senza dubbio quello maggiormente utilizzato. Essendo tale composto un battericida di rapida azione, esso non è persistente, e viene rapidamente degradato in composti non tossici per idrolisi.

Gli isotiazoloni (anche conosciuti come isotiazolinoni o isotiazoline) sono biocidi stabili in acqua e di lenta azione battericida, ma capaci di disattivare il metabolismo dei microrganismi nell'ordine di alcuni minuti. Il clorometil- ed il metil- isotiazolinone (CMIT e MIT) sono tra essi più largamente utilizzati, solitamente in miscela 3:1. Questi composti sono largamente efficaci e compatibili con diversi additivi, con l'eccezione di agenti riducenti od ossidanti forti e concentrati.

La glutaraldeide è un potente biocida, velocemente biodegradabile, ed utilizzato in svariati trattamenti. Per poter essere efficace, deve essere utilizzata ad una concentrazione relativamente alta (fino a 100 ppm). Nonostante essa sia utilizzata su un ampio spettro di pH, risente dell'inconveniente di essere disattivata da ammoniaca ed altri composti azotati.

Disperdenti ed enzimi

I disperdenti, o biopenetranti, sono sostanze ad attività superficiale, e non biocida, che sviluppano penetrando ed indebolendo il deposito che si forma sulla superficie delle tubature, inclusa la matrice biopolimerica. In questo modo, i microorganismi che vivono all'interno del biofilm vengono rilasciati dalla protezione degli EPS, e quindi rimangono maggiormente esposti all'azione dei biocidi. In questo modo, i batteri possono essere eliminati con maggiore efficienza. Per questo motivo, i disperdenti sono spesso aggiunti alla formulazione biocida per incrementare la loro capacità di rimozione del biofilm.

Inoltre, il loro impiego permette di ridurre drasticamente la quantità di biocida richiesta per ottenere la completa sanificazione del sistema, il che si rispecchia in una diminuzione sia delle spese che degli scarichi prodotti.

I disperdenti sono tipicamente dosati nel sistema prima del dosaggio biocida. Sul mercato sono disponibili una grande varietà di disperdenti, sia anionici che cationici. Applicazioni più recenti prevedono invece l'utilizzo di polimeri non ionici, i quali sono atossici e non portano alla formazione di schiuma. A questo proposito, anche gli enzimi sono prodotti molto promettenti, infatti stanno ricevendo una crescente attenzione nel settore del trattamento acque. Come per tutte le classi di composti appartenenti a questa categoria, questi ultimi dovrebbero sempre essere utilizzati in combinazione con formulazioni biocida. In caso contrario, la rottura del biofilm, non seguita dall'eliminazione dei batteri che vivono al suo interno, potrebbe risultare in una moltiplicazione dei microorganismi - e, possibilmente, dei patogeni - nell'acqua (Fig. 7).

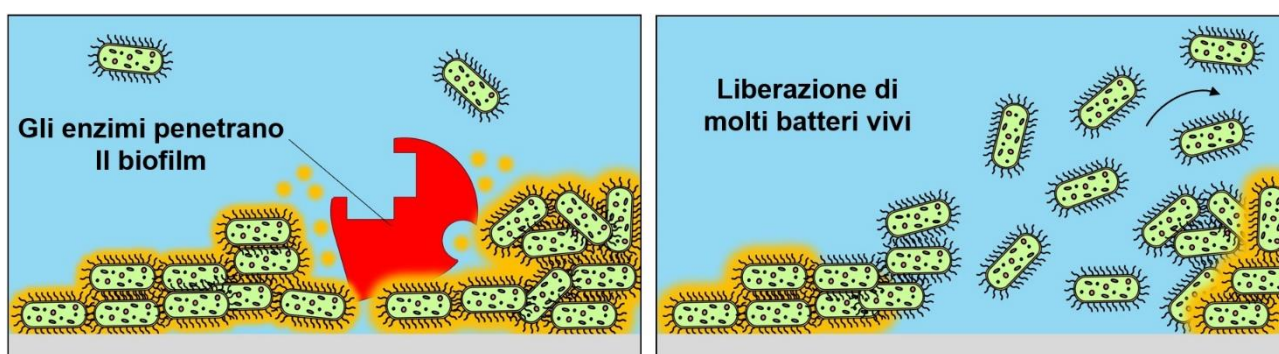


Figura 7: PRO e CONTRO nel trattamento enzimatico del biofilm

Gli enzimi sono suscettibili all'azione dei composti ossidanti, i quali possono indurli a denaturare. Siccome i biocidi vengono solitamente dosati solo dopo il trattamento enzimatico, nella maggior parte dei casi ciò non è un problema. Comunque, dato il costo, l'uso degli enzimi è attualmente limitato principalmente al settore alimentare ed alcune altre applicazioni dove i volumi d'acqua utilizzati non sono eccessivi.

In conclusione, si vuole sottolineare che la **selezione del biocida più appropriato per una applicazione specifica non è sufficiente a garantire risultati ottimali contro i batteri. Per mantenere pulite le tubazioni, prevenire problemi, risparmiare tempo e risorse, è necessario ottimizzare il trattamento e controllarne la reale efficacia. ALVIM offre le migliori tecnologie per valutare l'efficacia dei trattamenti di sanificazione, basandosi sulle reali necessità.**

Hai un problema simile con il biofilm? Contatta i nostri esperti e chiedi una consulenza gratuita su misura, riceverai maggiori informazioni riguardo i prodotti ed i servizi ALVIM.

Il sistema ALVIM per il Monitoraggio del Biofilm rappresenta uno strumento affidabile per la rilevazione precoce della crescita batterica sulle superfici, in linea ed in tempo reale, in impianti industriali, acque di raffreddamento, etc.

La Tecnologia ALVIM è stata sviluppata in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine, ed è attualmente utilizzata in tutto il mondo, in svariati settori applicativi.

ALVIM Srl | +39 0108566345 | info@alvim.it | www.alvim.it | www.linkedin.com/company/alvimbiofilmsensors