

The logo for ALVIM, featuring the letters 'ALVIM' in a bold, blue, sans-serif font. The 'A' is stylized with a dot, and the 'V' is a simple, blocky shape. The 'I' and 'M' are also blocky and blue.

Biofilm Monitoring System

- ✓ **Rilevamento del biofilm sin dalle prime fasi**
- ✓ **Monitoraggio e ottimizzazione trattamenti di sanificazione**

www.alvim.it

INDICE

1. Biofilm & biofouling industriali	3
Il ciclo vitale del biofilm.....	3
Metodologie per il rilevamento del biofilm	5
2. Il Sistem ALVIM	6
Struttura del Sistema ALVIM	7
Il Sensore	8
3. Applicazioni.....	9
Dosaggio automatico di biocidi.....	9
Ottimizzazione di processo	10
Prevenzione del rischio Legionella	10
Casi applicativi	10
Articoli e Progetti di Ricerca	10
4. Riassunto.....	11
5. Utilizzatori del Sistema ALVIM.....	11
6. Contatti	11

1. Biofilm & biofouling industriali

Il biofilm batterico, la più importante componente del (micro) biofouling, rappresenta un grave problema dal punto di vista tecnologico, in particolare negli impianti industriali in cui l'acqua costituisce un importante elemento di processo.

Ad esempio in un sistema di scambio termico, una delle più importanti componenti di qualsiasi centrale energetica, un **biofilm** spesso 20 micron può causare una diminuzione del 30% dell'efficienza termica: il biofilm, infatti, è fino a 4 volte più isolante dei depositi di carbonato di calcio. Il biofilm può contribuire all'aumento del deposito inorganico, producendo sostanze collose che incrementano l'adesione delle particelle, inoltre apre la strada all'insediamento di organismi di maggiori dimensioni, il cosiddetto **macrofouling**. Tali organismi possono ridurre il flusso d'acqua incrementando, di conseguenza, il consumo di energia, per poter compensare la riduzione di diametro delle tubazioni. Questi problemi possono portare fino al blocco delle pipeline ed al fermo impianto.

Il biofilm, inoltre, è responsabile della corrosione batterica (*microbiologically influenced corrosion*, MIC), che causa negli impianti industriali di tutto il mondo danni per miliardi di dollari.

Il ciclo vitale del biofilm

Dalla fine degli anni '70, sono stati svolti studi approfonditi sulla complessa struttura biologica e biochimica del biofilm, ma molti aspetti legati alla sua formazione sono ancora oggetto di indagine. Nondimeno, se consideriamo un ambiente liquido, è possibile dividere il ciclo vitale del biofilm in tre fasi differenti:

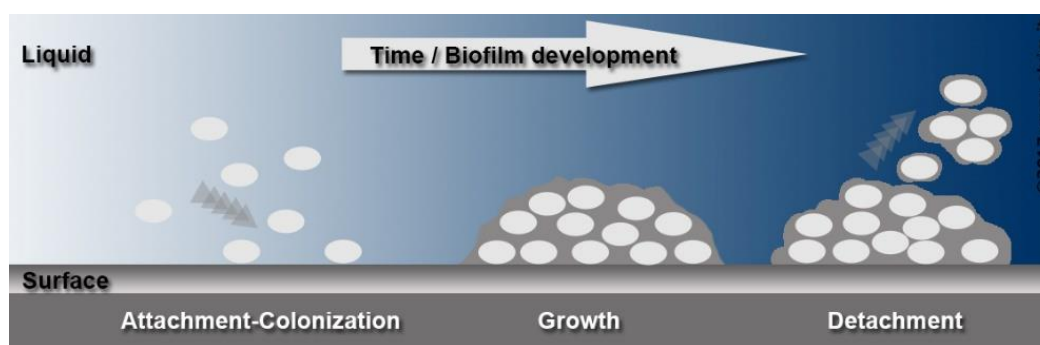


Fig. 1: Ciclo vitale del biofilm

1. **Adesione-colonizzazione.** In questa fase i primi batteri (chiamati pionieri), provenienti dalla massa d'acqua, si attaccano alla superficie.
2. **Crescita.** I batteri pionieri aderenti al substrato (sessili) iniziano a moltiplicarsi e a diffondersi, coprendo la superficie disponibile. Le colonie batteriche crescono formando complesse strutture tridimensionali, coperte da sostanze polimeriche extracellulari (EPS), che le proteggono da attacchi provenienti dall'esterno (come biocidi ed antibiotici).
3. **Distacco.** Il biofilm raggiunge, infine, una condizione di pseudo-equilibrio, in cui gli strati più esterni tendono a distaccarsi, per azione dello stress meccanico provocato dal flusso d'acqua, che li trasporta via. Ciò aumenta ulteriormente la probabilità di formazione del

biofilm in altre sezioni dell'impianto, rispetto alla presenza dei semplici batteri in fase planctonica (liberi nell'acqua).

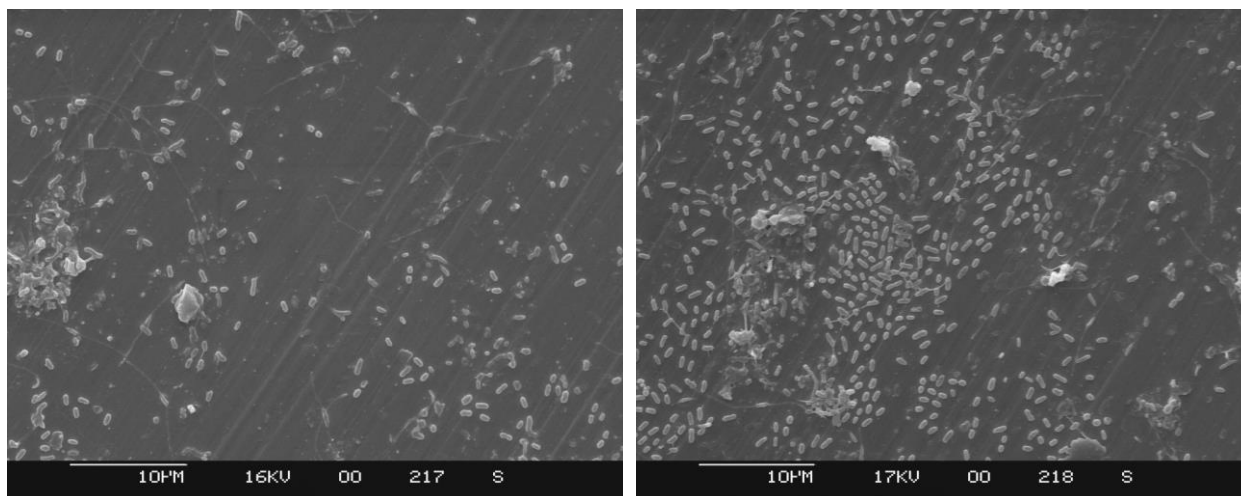


Fig. 2: Immagini SEM del ricoprimento progressivo di una superficie da parte di biofilm in fase iniziale

Va sottolineato quanto più difficile e dispendioso risulti, sia in termini di concentrazione di biocida da utilizzare che di tempo di contatto, avere a che fare con un biofilm in fase 3, rispetto ad un biofilm in fase 1-2. Di fatto, da quando la matrice EPS inizia a svilupparsi, la resistenza del biofilm agli agenti esterni può aumentare di tre ordini di grandezza (x1000). Ciò significa che, quando viene applicato un trattamento di pulizia (ad es. un biocida):

- se il biofilm è nella sua fase iniziale di sviluppo (Fig. 3, sulla sinistra), può essere completamente rimosso;
- se è maturo (Fig. 3, sulla destra), è molto più difficile distruggerlo completamente.

Nel primo caso, dopo il trattamento di pulizia il biofilm avrà bisogno di più tempo per tornare a crescere, mentre nel secondo caso, poiché saranno presenti batteri ancora vivi, ricrescerà velocemente.

Spesso risulta molto difficile prevedere le condizioni ambientali favorevoli per

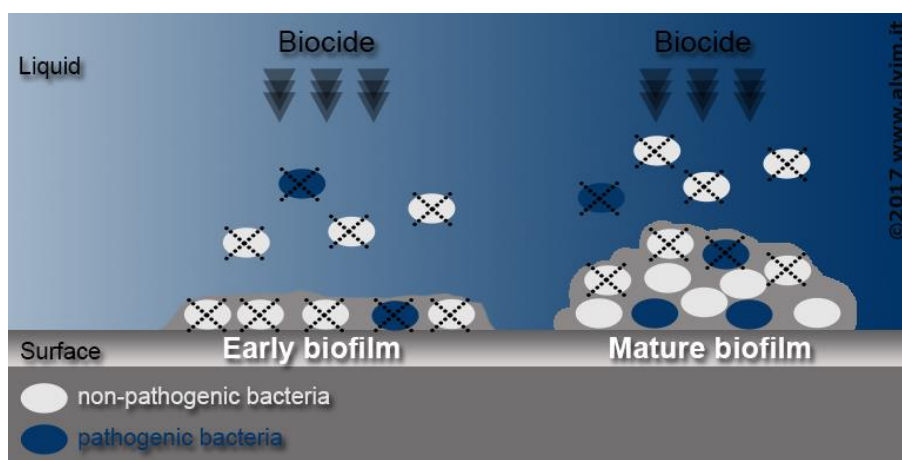


Fig. 3: Efficacia dei trattamenti biocidi nei confronti di diverse fasi di sviluppo del biofilm

l'insediamento del biofilm (fasi 1 e 2, come precedentemente descritto: il momento migliore per applicare i trattamenti di pulizia). Queste condizioni dipendono solitamente da molti fattori differenti, come temperatura, stagionalità, pH, composizione chimica dell'acqua, ossigeno disciolto, etc.

Tutte queste considerazioni giustificano il grande interesse industriale nei confronti di sensori e tecnologie capaci di rilevare il biofilm sin dalla sue fasi iniziali e di monitorarne la crescita. Queste tecnologie possono essere applicate in maniera efficiente in numerosi ambiti industriali, dagli scambiatori di calore delle centrali energetiche, alle torri di raffreddamento, dagli impianti di produzione alimentare alla dissalazione per osmosi inversa.

Metodologie per il rilevamento del biofilm

Svariati metodi per il rilevamento del biofilm sono stati proposti nel corso degli anni, ma è possibile individuare due approcci principali efficaci in ambiente industriale per applicazioni di monitoraggio in tempo reale:

- metodi indiretti basati su misure di efficienza (solitamente termica o meccanica);
- metodi diretti basati sul rilevamento dell'attività elettrochimica associata alla crescita del biofilm.

Il primo approccio basa la stima del ricoprimento di biofilm sulla misurazione di variazioni di diversi parametri (meccanici e termici) causate dal deposito che si forma. Questo tipo di approccio non è utilizzabile per ricoprimenti inferiori ai 30-40 micron, di conseguenza permette esclusivamente il rilevamento di biofilm maturi (v. Fig. 4).

Inoltre, i sensori basati su questo approccio non sono in grado di distinguere tra biofilm ed altri tipi di deposito, come quello inorganico (scaling).

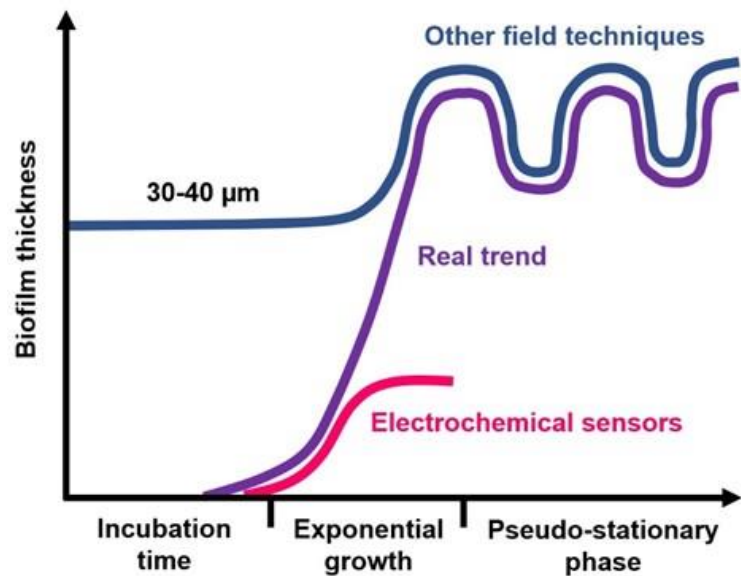


Fig. 4: Confronto tra la sensibilità di diversi metodi per il rilevamento del biofilm

D'altro canto, è estremamente importante agire il prima possibile nei confronti del biofilm, con trattamenti di pulizia adeguati (chimici, termici, UV, ...), al fine di raggiungere il compromesso ottimale tra efficacia, costi e protezione dell'impianto. Ciò risulta possibile utilizzando sensori elettrochimici.

2. Il Sistem ALVIM

Il Sistema ALVIM si basa su una sofisticata tecnica di misura del segnale elettrochimico del biofilm.

Com'è noto, il biofilm influenza la cinetica di riduzione dell'ossigeno sulla superficie del metallo sottostante, sia in acque naturali che industriali, pertanto la crescita del biofilm può essere misurata per mezzo di tecniche elettrochimiche. La tecnologia proposta, sviluppata in collaborazione con l'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISMAR, <http://www.ismar.cnr.it>) è stata implementata unendo un avanzato condizionamento del segnale analogico con un sistema elettronico gestito da microprocessori. Il Sensore ALVIM misura la naturale attività elettrochimica del biofilm, indicando la sua reale presenza ed estensione (percentuale di superficie ricoperta dai batteri) in un dato momento. Studi scientifici confermano che le informazioni fornite dal Sistema ALVIM sono rappresentative della crescita del biofilm all'interno di tubazioni/serbatoi nei quali il sensore è posizionato.

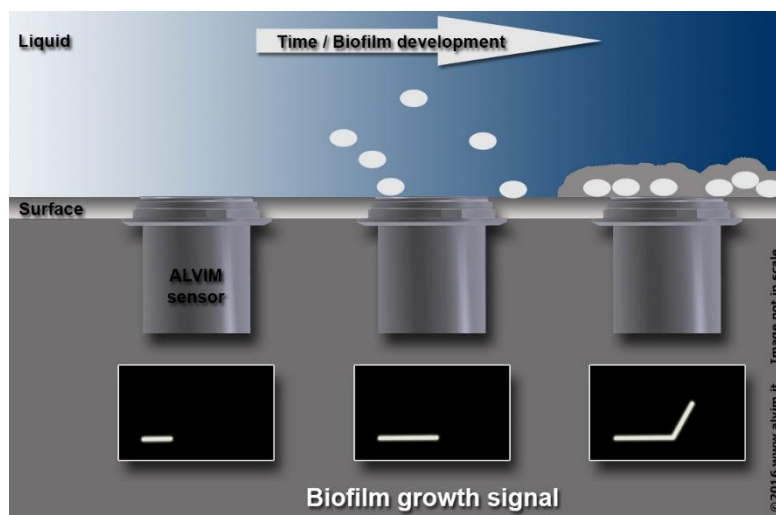


Fig. 5: Correlazione tra segnale ALVIM e crescita del biofilm

La maggior parte degli altri sensori disponibili sul mercato è in grado di monitorare solo il “deposito generico” (che comprende deposito minerale, molecole organiche, etc.), mentre ALVIM rileva esclusivamente la crescita di biofilm. Ciò è estremamente importante, poiché diversi tipi di deposito richiedono trattamenti diversi (antiscaling per il deposito minerale, biocida per i batteri, etc.).

La Tecnologia ALVIM rende possibile un rilevamento efficiente e preciso del biofilm in fase iniziale. Il monitoraggio della crescita del biofilm è stato dimostrato essere stabile ed estremamente sensibile (sin dall'1% di superficie coperta dai batteri) ¹.

¹ Exploiting a new electrochemical sensor for biofilm monitoring and water treatment optimization - Water Research 45 (2011), pp. 1651-1658 (http://alvimcleantech.com/go/pavanello_et_al_2011)

Per rendere l'uso del Sensore ALVIM il più semplice possibile per lo staff tecnico di qualunque impianto industriale, è stata scelta una **modalità soglia**. Ciò significa che il segnale del sensore cresce velocemente quando il ricoprimento del biofilm supera una soglia prescelta (v. Fig. 5 e Fig. 9). Ciò equivale ad un segnale acceso/spento che indica “non c'è biofilm” / “c'è biofilm, è necessario pulire”.

Questo approccio rende possibile un uso semplice e flessibile dei Sensori ALVIM, considerando differenti applicazioni quali:

1. analisi e caratterizzazione della crescita batterica, in termini di frequenza ed intensità, in circuiti industriali;
2. valutazione comparativa di differenti biocidi o trattamenti antifouling;
3. monitoraggio continuo ed in tempo reale del trattamento acque (ad es. per controllo ridondante dell'equipaggiamento);
4. controllo ed ottimizzazione automatici e/o remoti del trattamento acque a livello industriale.

È stato ampiamente dimostrato che tali approcci possono essere facilmente implementati dagli utenti finali, anche in assenza di conoscenze approfondite relative alla problematica biofilm.

La possibilità di collegare più sensori contemporaneamente, anche con un approccio spaziale distribuito, è garantita dall'architettura tecnologica ALVIM, che permette diverse applicazioni avanzate, come, ad esempio:

- sistemi di trattamento acque distribuiti, realizzati installando diversi Sensori ALVIM, interconnessi, in differenti sezioni dell'impianto, per monitorare la crescita del biofilm in condizioni diverse;
- sistemi di trattamento acque gestiti da remoto, basati su una rete di Sensori ALVIM che raccolgono dati sulla crescita di biofilm in continuo ed in tempo reale;
- integrazione di diversi tipi di sensore, oltre a quelli ALVIM, al fine di migliorare la valutazione e caratterizzazione dei sistemi idrici industriali.

Struttura del Sistema ALVIM

Un Sistema ALVIM per il Monitoraggio del Biofilm (Fig. 6) include uno o più sensori, collegati ad un sistema di acquisizione dati (PLC, DCS, PC, etc.). Per la comunicazione dei dati vengono utilizzati protocolli standard (RS485 MODBUS, 4-20 mA). Per maggiori informazioni è possibile visitare:

<http://www.alvimcleantech.com/cms/it/sensoribiofilm>

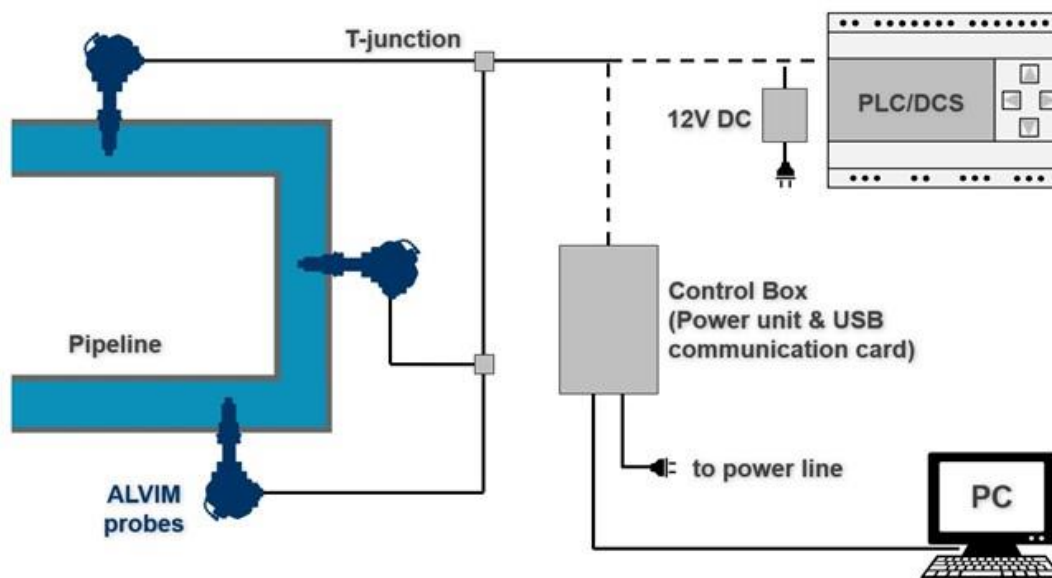


Fig. 6: Panoramica generale di un Sistema ALVIM per il Monitoraggio del Biofilm

Il Sensore

La sonda ALVIM permette una misurazione in tempo reale della crescita del biofilm e delle sue possibili diminuzioni legate al dosaggio di biocidi nell'impianto.

Il sensore può essere inserito rapidamente in qualsiasi impianto idrico industriale (tubazioni, serbatoi, etc.), e necessita di un unico cavo per la trasmissione dei dati e l'alimentazione elettrica.

Il sensore (composto da un elemento sensibile ed una scheda elettronica) è basato su una tecnologia elettrochimica innovativa, in grado di rilevare il ricoprimento da parte del biofilm sin dalle sue fasi iniziali. Oltre a monitorare la crescita del biofilm, la sonda ALVIM è sensibile alle sostanze ossidanti (come la maggior parte dei biocidi). Ciò permette di monitorare in tempo reale l'applicazione dei biocidi, fornendo informazioni aggiuntive circa l'efficacia dei trattamenti di sanificazione.



Fig. 7: Sensori ALVIM. Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo:
<http://www.alvimcleantech.com/cms/it/sensoribiofilm>

3. Applicazioni

Dosaggio automatico di biocidi

L'approccio più comune alla prevenzione del biofilm negli impianti industriali consiste nel trattare le acque di processo con sostanze chimiche (biocidi), al fine di contrastare la formazione di biofilm.

Queste sostanze chimiche, solitamente composti clorati (ad es. biossido di cloro), comportano numerosi rischi dal punto di vista ambientale, e la loro estrema tossicità li rende pericolosi per gli operatori.



Fig. 8: Prevenzione del biofilm in sistemi idrici industriali

In assenza di una misurazione affidabile della presenza di biofilm, il cloro viene solitamente utilizzato in maniera "euristica". Questo approccio può portare, a volte, ad un trattamento insufficiente o ad un sovradosaggio di cloro, causando, nel primo caso, una protezione insufficiente dal biofilm o, nel secondo caso, uno spreco di sostanze chimiche, con conseguenti danni ambientali ed economici.

Va osservato come l'effetto dei biocidi sul biofilm risulti fortemente influenzato dallo stadio di sviluppo di quest'ultimo (Fig. 3). Durante le sue prime fasi di crescita, il biofilm è altamente vulnerabile ai biocidi (principalmente per l'assenza della matrice di EPS, che agisce come uno "scudo" per i batteri), mentre, negli stadi più avanzati, il biofilm sviluppa una maggiore resistenza alle sostanze tossiche, rendendo necessario l'impiego di concentrazioni maggiori di biocidi per ottenere gli effetti desiderati.

La Fig. 9 mostra un esempio d'impiego del Sistema ALVIM per l'ottimizzazione della pulizia chimica delle tubazioni.

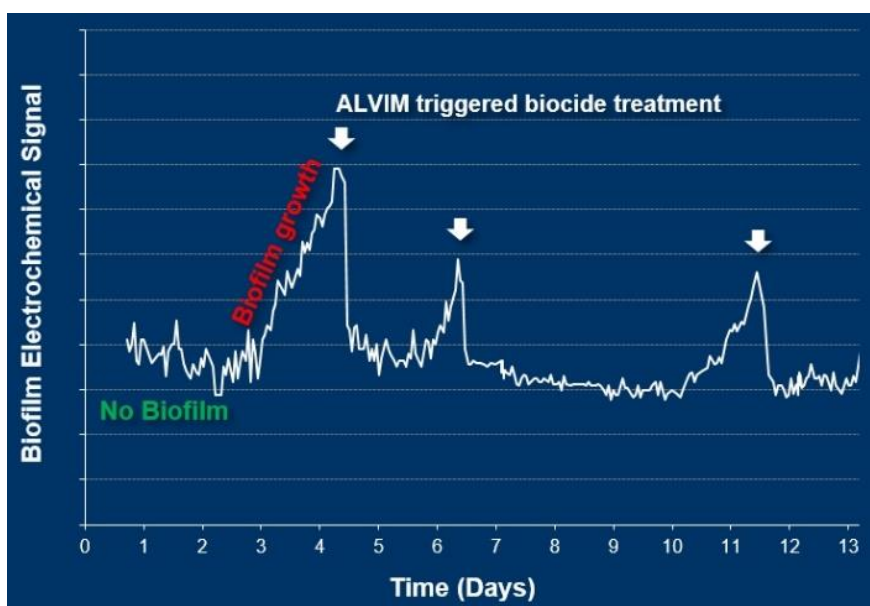


Fig. 9: Sanificazioni innescate dal Sistema ALVIM nella linea acqua mare di un impianto di dissalazione ad osmosi inversa

Non appena il Sensore ALVIM rileva la crescita di biofilm all'interno della linea, il trattamento di pulizia viene attivato. In questo modo è possibile ottenere i migliori risultati in termini di efficienza globale del processo (efficacia della sanificazione, risparmio economico, salvaguardia dei componenti/materiali, uso e scarico delle sostanze chimiche).

Al contrario, in processi che richiedano la più bassa presenza possibile di batteri, la Tecnologia ALVIM può essere utilizzata per verificare che il trattamento di sanificazione applicato prevenga efficacemente la crescita del biofilm.

Ottimizzazione di processo

La capacità di monitorare la crescita del biofilm, in maniera accurata ed in tempo reale, sin dalle sue prime fasi di sviluppo, risulta estremamente importante per un trattamento di sanificazione efficace. I principali vantaggi di un sistema di monitoraggio di questo tipo possono essere così riassunti:

- valutazione dell'efficacia del sistema di sanificazione e, in particolare, dei differenti biocidi utilizzati all'interno dell'impianto;
- allarme tempestivo in caso di malfunzionamento del sistema di disinfezione;
- dosaggio automatico dei biocidi in funzione delle reali necessità.

Prevenzione del rischio Legionella

Il biofilm rappresenta l'ambiente ideale per la sopravvivenza di colonie batteriche potenzialmente molto pericolose per la salute umana, come, ad esempio, *Legionella pneumophila*. Questi batteri proliferano nei sistemi di raffreddamento con scambio diretto aria/acqua (torri di raffreddamento, impianti di condizionamento, etc.) e possono trasferirsi nell'aria insieme agli spruzzi d'acqua. Nell'aria, colonie batteriche potenzialmente dannose possono viaggiare per chilometri, costituendo un possibile rischio.

Risulta, quindi, estremamente importante contrastare la formazione del biofilm, per minimizzare il rischio di pericolose contaminazioni batteriche. È stato dimostrato come ALVIM rappresenti uno strumento essenziale per prevenire tali contaminazioni.

Casi applicativi

Applicazioni relative all'impiego dei Sensori ALVIM in differenti settori sono disponibili all'indirizzo:

<http://www.alvimcleantech.com/cms/it/sensoribiofilm/casi-applicativi>

Articoli e Progetti di Ricerca

Articoli che dimostrano l'efficacia e l'affidabilità della Tecnologia ALVIM e Progetti di Ricerca nei quali i Sensori ALVIM di Biofilm sono stati validati scientificamente possono essere consultati all'indirizzo:

<http://www.alvimcleantech.com/cms/it/sensoribiofilm#ricerca>

4. Riassumendo

Un'indicazione accurata ed in tempo reale riguardo la presenza e la crescita del biofilm nei sistemi idrici ha un'importanza sempre maggiore. In assenza di questo tipo di indicazioni, le industrie devono affidarsi a monitoraggi occasionali dei batteri planctonici e a trattamenti acque con biocidi effettuati su base euristica. Questi trattamenti sono spesso applicati senza tener conto del comportamento dinamico del sistema, che è influenzato da numerose variabili (temperatura, stagionalità, etc.). Le conseguenze sono una minore efficacia dei trattamenti, un aumento dei costi e del rischio ambientale.

Il controllo del biofilm può essere notevolmente migliorato utilizzando la Tecnologia ALVIM, che, in particolare:

- incoraggia un uso "saggio" dei biocidi, riducendo l'impatto ambientale e l'esposizione del personale;;
- minimizza i rischi sanitari legati alla crescita incontrollata dei microbi;
- permette di modulare i trattamenti biocidi sulla base delle effettive necessità;
- assicura un monitoraggio 24/7;
- fornisce un controllo diretto sull'efficacia dei biocidi impiegati e sull'efficienza del sistema di disinfezione;
- automatizza parzialmente o completamente il processo di trattamento, minimizzando l'intervento del personale in situ;
- permette di effettuare da remoto il monitoraggio ed il controllo dei sistemi di trattamento.

5. Utilizzatori del Sistema ALVIM

Tra gli utilizzatori del sistema ALVIM di Monitoraggio del Biofilm:



6. Contatti

ALVIM Srl, Genova (Italy)

www.alvim.it | info@alvim.it | +39 0108566345

