

In breve. Sebbene i composti a base di cloro siano ampiamente utilizzati nei sistemi idrici grazie alla loro disponibilità, al basso costo e all'efficacia contro i patogeni, la sola misurazione del cloro residuo non è un indicatore affidabile dell'efficacia della sanificazione o della contaminazione batterica. Il cloro forma potenti agenti ossidanti (come l'acido ipocloroso e l'ipoclorito) che eliminano i batteri liberi in sospensione più efficacemente rispetto ai batteri presenti nel biofilm, i quali sono protetti da sostanze esopolimeriche. Spesso si presume che i livelli di cloro residuo a valle del trattamento siano correlati alla pulizia complessiva del sistema, ma ciò può essere fuorviante, poiché il consumo di cloro avviene anche attraverso reazioni con materia organica e inorganica, fenomeni di corrosione e volatilizzazione, non solo per l'eliminazione dei batteri. Le tecniche di misurazione (colorimetriche, amperometriche, ecc.) sono soggette a interferenze ed errori, in particolare a causa delle clorammine. Pertanto, i valori di cloro residuo non indicano quanto biocida abbia penetrato il biofilm né quanti batteri siano ancora presenti. Il monitoraggio diretto del biofilm è essenziale per una valutazione accurata e per l'ottimizzazione del trattamento.

Il cloro ed i suoi derivati sono tra i biocidi più utilizzati negli impianti idrici. Ciò si deve alla loro elevata efficacia, all'ampia disponibilità ed al basso prezzo. Una volta in soluzione, questi composti formano forti agenti ossidanti che interagiscono con i batteri presenti nel sistema, uccidendoli. L'**acido ipocloroso** e l'**ipoclorito** sono potenti biocidi ottenuti dalla dismutazione del cloro in acqua. Questi agenti sanificanti sono più efficaci sui batteri liberi nel liquido piuttosto che su quelli adesi alle superfici (biofilm). Ciò è dovuto alle sostanze polimeriche extracelulari (EPS), prodotte dai batteri che costituiscono il biofilm, le quali forniscono loro protezione dai trattamenti esterni e dagli agenti chimici. Il **diossido di cloro** e le **clorammine** sono biocidi generalmente meno efficaci, ma dotati di maggiore stabilità e capacità di penetrare il biofilm (Fig. 1).

L'attività biocida di questi composti chimici deriva dalla loro interazione con la membrana cellulare dei batteri. In seguito a tale interazione, i composti clorurati vengono consumati ed i batteri vengono eliminati (Fig.2).

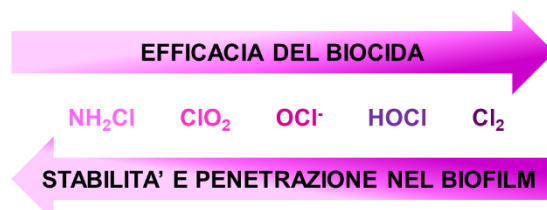


Figura 1: Efficacia dei biocidi vs. stabilità e penetrazione del biofilm

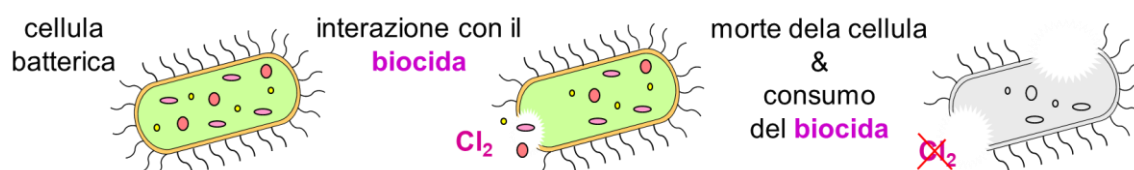


Figura 2: Interazione dei biocidi a base cloro con i batteri

I biocidi a base cloro vengono generalmente dosati a concentrazioni tali da lasciare un **residuo clorurato** nell'acqua. Questo approccio è impiegato come misura precauzionale, volta a garantire che tutti i batteri vengano uccisi. Spesso viene assunto che la misurazione del cloro residuo, a valle di una sanificazione, fornisca una buona indicazione sia riguardo l'efficacia del trattamento, che sul livello di contaminazione batterica del sistema. Sfortunatamente, tale assunzione non è corretta. Ad esempio, nel caso in cui il tempo di contatto sia troppo breve, o il sanificante non riesca a penetrare efficacemente lo strato di biofilm, può sopravvivere al trattamento un numero anche molto elevato di batteri. Inoltre, numerosi altri processi chimici competono con la rimozione batterica, per quanto concerne il consumo dei composti clorurati.

I metodi più utilizzati per effettuare la misura del cloro residuo sono basati su tecniche colorimetriche, amperometriche, polarografiche e di gas-stripping. Tali misurazioni possono essere effettuate su campioni di acqua, o, in maniera più pratica, direttamente in linea, tramite diversi strumenti. A seconda del setup analitico, è possibile effettuare misure di cloro residuo totale o libero. Il **cloro residuo totale** viene definito come la somma del cloro residuo libero e di quello combinato. Il **residuo libero** è perlopiù costituito da acido ipocloroso ed ipoclorito. Tale residuo include specie ancora altamente reattive, ed indica il potere ossidante in eccesso derivante dal dosaggio di cloro. Il **residuo combinato** è composto dalla somma di diverse clorammine (mono, di e tri- clorammina). Esso indica quanto il sanificante dosato ha reagito con ammoniacale, nitriti ed azoto organico (ad es. amminoacidi). La monoclorammina è un biocida considerevolmente meno efficace rispetto all'acido ipocloroso, mentre le altre clorammine sono di fatto non efficaci. È importante sottolineare che le clorammine interferiscono con la misura del residuo libero, causando una sovrastima. Interferiscono con la misura del cloro residuo anche agenti ossidanti quali l'ozono, il perossido di idrogeno ed i composti di manganese. In generale, la misura del cloro residuo è fortemente soggetta ad interferenze ed errori. Infatti, i derivati clorurati impiegati come sanificanti sono altamente reattivi sia con composti organici che inorganici, a causa del loro forte potere ossidante (Fig. 3). Il consumo di queste sostanze è dovuto, ad esempio, alle loro reazioni chimiche con materiale vegetale in decomposizione, additivi organici e deposito minerale (incrostazioni). In aggiunta, questi composti chimici sono anche coinvolti nella corrosione di metalli ed altri elementi strutturali del sistema. In questo contesto, si fa spesso riferimento al consumo totale dei sanificanti clorurati come **richiesta ossidante del sistema**. Tale concetto viene comunemente frainteso, assumendo che la richiesta ossidante del sistema sia connessa unicamente alla rimozione dei batteri; ciò causa un errato approccio alla sanificazione ed al trattamento delle acque.

Come precedentemente menzionato, sono diversi i processi chimici che spiegano il consumo di cloro in questo contesto. Inoltre, le specie clorate sono spesso volatili, e possono quindi abbandonare il sistema per degassificazione.

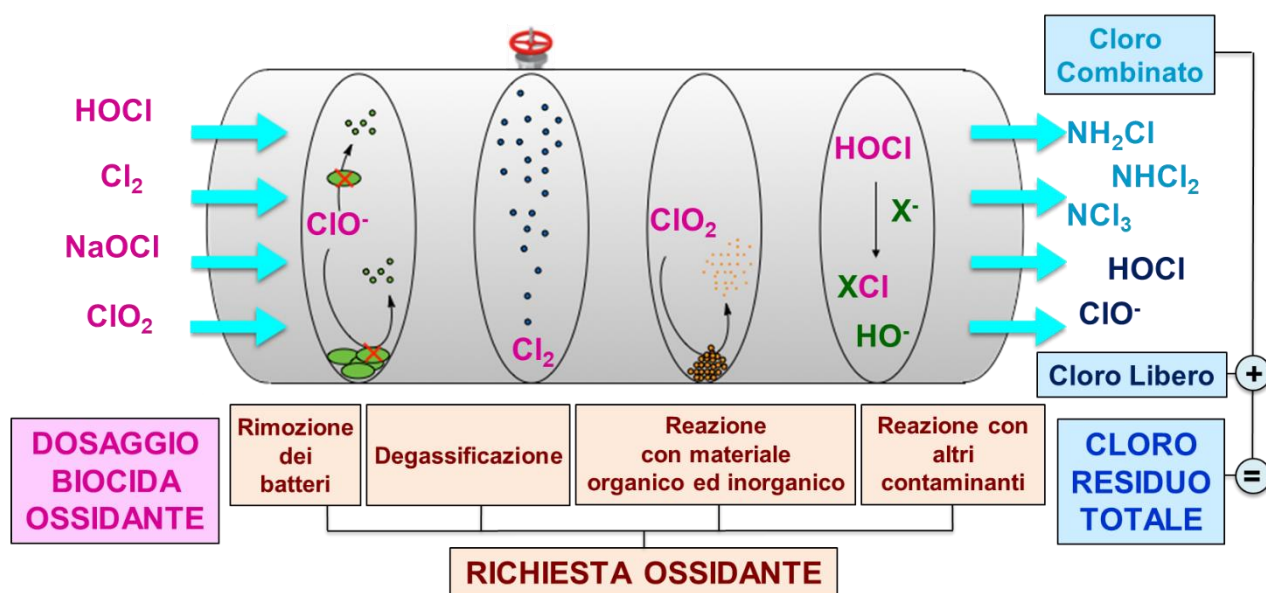


Figura 3: Processi che coinvolgono i biocidi a base cloro – dal dosaggio, al consumo, al residuo

È quindi evidente che l'analisi del residuo non fornisca alcuna informazione dettagliata circa le cause che hanno determinato il consumo del sanificante. Di conseguenza, la semplice misura del cloro residuo non può fornire informazioni esaustive sull'efficacia del trattamento, né tantomeno sul quantitativo di batteri presenti nel sistema. Una data richiesta ossidante ed un dato residuo clorurato possono avere origine da diverse situazioni. Tenendo conto solo di questi due parametri, non è

possibile stabilire l'efficacia del trattamento, capire se il biocida è stato sotto- o sovradosato, né capire se quasi tutti, alcuni, o solo pochi batteri, sono stati eliminati. **Numerosi problemi possono derivare da assunzioni errate.** Per esempio, un dato consumo di sanificanti, misurato per mezzo del cloro residuo, potrebbe essere assunto come indicazione di un sistema pulito, dove i batteri sono stati rimossi. Al contrario, la rimozione solo parziale dei batteri potrebbe essere responsabile di un incremento di nutrienti nel sistema; ciò potrebbe causare una nuova proliferazione batterica. Infatti, la distruzione di microorganismi porta alla formazione di nutrienti immediatamente disponibili, alimentando la crescita della comunità batterica, anche in presenza di biocidi.

Per tutti questi motivi, la misura del cloro residuo non può essere considerata come indicativa dell'efficacia di trattamenti di pulizia e sanificazione. Al contrario, l'uso di strumenti specifici, come i Sensori di Biofilm ALVIM, è fortemente raccomandato. In un sistema dove circola acqua, più del 90% dei batteri vivono nel biofilm, e non liberi nel liquido. Inoltre, tale strato batterico è molto più difficile da rimuovere rispetto ai microorganismi liberi nell'acqua. Il Sensore ALVIM fornisce una misura attendibile della crescita del biofilm, effettuata online ed in tempo reale. Ciò permette sia di controllare l'efficacia dei biocidi, che di ottimizzare il trattamento sulla base delle 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/alvimbiosensors