

Le torri di raffreddamento (TR) sono da sempre considerate i sistemi di dissipazione del calore più affidabili, consolidati ed efficienti disponibili sul mercato. Sono macchine molto semplici, che vengono utilizzate per il raffreddamento dell'acqua nei processi industriali. Le torri di raffreddamento fanno anche parte dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria negli edifici. Il loro scopo è raffreddare e trattenere l'acqua utilizzata per dissipare il calore dagli scambiatori di calore. L'acqua fredda viene pompata fuori dalla TR per assorbire il calore dagli scambiatori termici, quindi, come acqua calda, entra nella parte superiore della torre per essere raffreddata attraverso il processo evaporativo (Fig. 1). L'acqua calda viene nebulizzata dalla parte superiore della torre su una superficie, come, ad esempio, le *splash bars*. L'aria atmosferica interagisce con l'acqua e un ventilatore soffia aria verso l'alto e verso l'esterno della torre per favorire il processo. Il raffreddamento evaporativo rilascia calore dal sistema e produce un aerosol che viene disperso nell'ambiente attraverso le aperture nella torre.

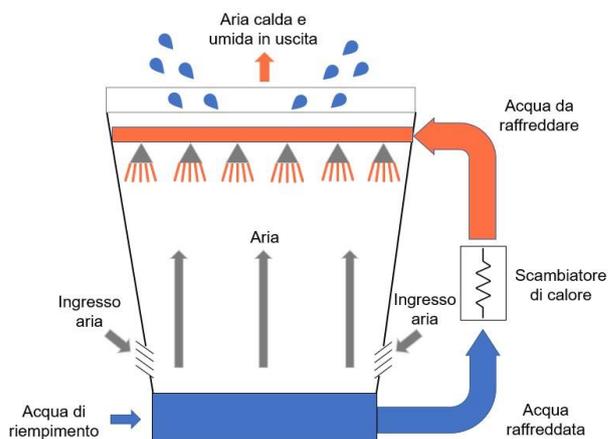


Figura 1: Schema di una torre di raffreddamento

Le TR hanno una sola parte mobile, l'elettroventilatore, e l'acqua da raffreddare è a diretto contatto con l'aria. L'evaporazione è il processo naturale che utilizza il calore sensibile e il calore latente come mezzo per dissipare il carico termico. Il processo permette di raffreddare l'acqua ad una temperatura inferiore a quella dell'aria nello stesso ambiente, sfruttando il calore latente di evaporazione e la parte di acqua che evapora a diretto contatto con l'aria. In questo modo viene rimossa una quantità importante di calore, circa 550-600 kcal per ogni kg di acqua evaporata. Pertanto, una TR è una macchina che consente di raffreddare l'acqua in modo efficiente con un basso costo energetico. D'altra parte, l'acqua evaporata deve essere rabboccata. Il principio del raffreddamento evaporativo è stato applicato nell'industria per decenni e la tecnologia si è costantemente evoluta. Il ruolo delle TR è estremamente importante, pertanto, data la loro dimensione e funzione, è necessario monitorarle costantemente, per evitare la necessità di interventi straordinari che richiedano la fermata degli impianti – e questo vale, in particolare, per le infrastrutture critiche come, ad esempio, le centrali nucleari.

### Problematiche correlati alla proliferazione batterica nelle torri di raffreddamento

Sebbene il processo delle TR sia efficace nella rimozione del calore, può potenzialmente causare seri problemi di igiene e contaminazione. Infatti, i batteri patogeni che sopravvivono e proliferano in questo ambiente possono diffondersi facilmente con l'aerosol, anche per chilometri. Inoltre, lo strato microbiologico ("biofilm") che ricopre rapidamente qualsiasi superficie a contatto con l'acqua può determinare corrosione microbiologicamente indotta (*microbially induced corrosion*, MIC), o biocorrosione, che può ridurre le prestazioni, aumentare il consumo di energia e diminuire lo scambio termico, con conseguente minore efficienza. Diversi studi hanno riportato come, nei soli USA, il 4% dei guasti delle centrali elettriche sia causato da fouling – che include biofilm, particelle organiche e inorganiche. Molti studi condotti anche in Europa e in altre regioni hanno dimostrato come tale incrostazione degli scambiatori di calore comporti un aumento dei costi di manutenzione. Gli organismi più rilevanti che colpiscono le torri di raffreddamento sono tipicamente alghe e batteri, che

possono vivere liberi nell'acqua (forma planctonica) o insediati su superfici (forma sessile). Quest'ultima rappresenta la parte più consistente, comunemente nota come biofilm. Si tratta di una

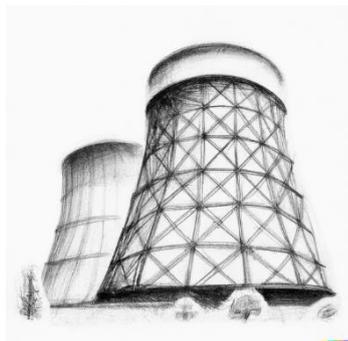


Figura 2: Torre di raffreddamento

comunità di microrganismi, insediata su una superficie, circondata da una matrice extracellulare costituita da polimeri polisaccaridici (EPS), DNA e proteine. In questo micro-ecosistema le condizioni sono ideali per la crescita microbologica: ecco perché è molto più efficiente essere sessili che cacciare per il cibo. L'ampia superficie, la bassa velocità del flusso d'acqua e la temperatura che si possono trovare nelle TR contribuiscono notevolmente alla formazione di questo strato biologico. Il processo di raffreddamento evaporativo aumenta la concentrazione di materia organica e inorganica nell'acqua, fornendo elevate quantità di cibo ai batteri. Inoltre, i materiali impiegati per la costruzione delle TR possono fornire un buon substrato per l'insediamento e la proliferazione dei batteri. In aggiunta, la lisciviazione di composti biodegradabili può portare a biomasse più elevate di biofilm. La

formazione di questo strato biologico pone svariate minacce alle torri di raffreddamento, prima fra tutte la sua capacità di fungere da serbatoio di agenti patogeni. L'EPS protegge i batteri dalle condizioni ambientali, dagli antibiotici e dai trattamenti igienizzanti. Per questo motivo, il biofilm è in grado di resistere ai trattamenti di sanificazione che uccidono facilmente le cellule planctoniche. Di conseguenza, i batteri patogeni possono persistere e moltiplicarsi in questo ambiente. Quando vengono rilasciati, a causa del flusso d'acqua, di trattamenti chimici o altri fattori, questi microrganismi contaminano l'acqua e, quindi, l'ambiente, viaggiando con le gocce d'acqua rilasciate dalla torre. Alcuni patogeni noti che destano preoccupazione nelle torri di raffreddamento sono *Legionella pneumophila* e *Pseudomonas aeruginosa*. [L. pneumophila causa la Malattia dei Legionari, mediante inalazione dell'aerosol delle torri contaminato da questi batteri, come discusso in dettaglio in un white paper specifico](#). Il biofilm protegge *L. pneumophila* dai trattamenti di sanificazione e le permette di sopravvivere in condizioni non ideali. Inoltre, può aumentare la sua resistenza agli antibiotici. Per tutti questi motivi, per garantire un'efficace prevenzione, i trattamenti di sanificazione devono essere applicati non appena il biofilm inizi a formarsi.

Il monitoraggio delle popolazioni microbiche nell'acqua delle TR è essenziale per ridurre al minimo i rischi per la salute della popolazione. Il controllo della proliferazione di *Legionella* nei circuiti dell'acqua delle torri di raffreddamento richiede un monitoraggio regolare e procedure di disinfezione efficaci. Le TR contaminate da *Legionella* possono causare gravi problemi di salute e persino portare alla morte di individui infettati che risiedono nelle vicinanze.

## Metodi di monitoraggio microbiologico

Esistono diverse opzioni per il [monitoraggio dei batteri in ambito industriale, come discusso in un precedente articolo](#). I seguenti sono quelli più comunemente applicati alle TR.

Gli scopi principali delle analisi microbiologiche, nelle torri di raffreddamento, sono il controllo dell'efficacia dei biocidi e la prevenzione della contaminazione da *Legionella*. A tal fine, il campionamento dell'acqua e l'analisi di laboratorio rappresentano l'approccio più ampiamente applicato. Sfortunatamente, questo metodo presenta alcuni importanti inconvenienti. Innanzitutto, questa opzione può rivelarsi dispendiosa e richiedere molto tempo, a seconda del numero di campioni e delle analisi specifiche da eseguire. In secondo luogo, vengono rilevati solo i batteri liberi nel liquido che, tuttavia, possono rappresentare anche solo il 10% del totale. Fino al 90% dei microrganismi, infatti, vive adeso alle superfici, nel biofilm. Ultimo punto, ma non meno importante, appena l'1% dei batteri presenti in un campione ambientale può essere rilevato mediante tecniche colturali di laboratorio. Per questi motivi, tale approccio può sottostimare ampiamente la reale contaminazione microbiologica.

Per campionare e studiare il biofilm, possono essere immersi in acqua dei coupon, solitamente in un rack posizionato all'interno di un bypass (Fig. 3). Successivamente, i coupon vengono periodicamente recuperati e analizzati, mediante diverse tecniche.

Per quanto riguarda Legionella, la gestione del rischio sanitario si basa sulla verifica che il livello di contaminazione delle acque sia inferiore alla soglia di allerta. Con più di  $10^3$  unità formanti colonia per litro (UFC/L), devono essere applicate analisi dei rischi e azioni correttive. Con più di  $10^5$  UFC/L, è raccomandato lo svuotamento, la pulizia e la disinfezione del sistema.

Questo approccio presenta notevoli svantaggi in termini di gestione del rischio. Innanzitutto richiede tempo, poiché i campioni devono essere inviati a un laboratorio e la loro incubazione richiede, solitamente, 24-48 ore. Inoltre, come accennato in precedenza, meno dell'1% dei batteri presenti nell'ambiente cresce nei terreni di coltura. Una parte importante della popolazione microbica, generalmente nota come vitale ma non coltivabile (*viable but non-culturable*, VBNC), non ha o ha perso la capacità di formare colonie su piastre di agar in condizioni di stress. Tuttavia, questi batteri possono essere ancora attivi e persino patogeni.

La misurazione dell'ATP viene spesso utilizzata sul campo e fornisce una panoramica dell'attività microbica totale. Pur se non essendo specifico, rappresenta un metodo rapido e semplice per stimare l'attività complessiva di una popolazione microbica in un campione, liquido o prelevato da una superficie (ad es. tampone o coupon). Tramite misurazione dell'ATP, è possibile ottenere dati quantitativi solo in maniera indiretta, stimando la quantità di cellule proporzionalmente all'intensità di fluorescenza misurata. Questo principio è generalizzato per tutti i tipi di microrganismi, anche se ciò può portare ad un'ampia approssimazione.

La citometria a flusso (Fig. 4) è una tecnica alternativa che consente la caratterizzazione qualitativa e quantitativa delle cellule sospese in un liquido. Oltre alla quantificazione rapida, la citometria a flusso può fornire informazioni sullo stato fisiologico delle cellule (totale vs vitale). Questa tecnica consente una determinazione diretta, che non è possibile con misurazioni ATP e altre tecniche. Tuttavia, è difficile da applicare in condizioni reali e rileva solo i batteri che fluttuano liberamente, non il biofilm.

In questo contesto, il [Sensore ALVIM](#) rappresenta una soluzione vantaggiosa per monitorare la crescita batterica nelle torri di raffreddamento, in linea e in tempo reale. Riducendo tempi e costi necessari allo svolgimento di questa attività, esso consente un miglioramento generale del processo.

## Metodi di sanificazione

Per controllare la proliferazione microbiologica nelle TR, possono essere applicati trattamenti chimici e fisici, separatamente o congiuntamente. Qualunque sia il metodo scelto, dovrebbe essere veloce, economico e affidabile in un'ampia gamma di pH e temperature. L'approccio più comunemente adottato è il [dosaggio di biocidi, come il cloro o l'ozono, come discusso più approfonditamente in uno specifico White Paper](#). I biocidi vengono dosati in modo intermittente o in continuo per il controllo di batteri, biofilm, funghi, alghe e protozoi. Questo è anche il metodo più utilizzato per il controllo di Legionella nelle torri di raffreddamento.

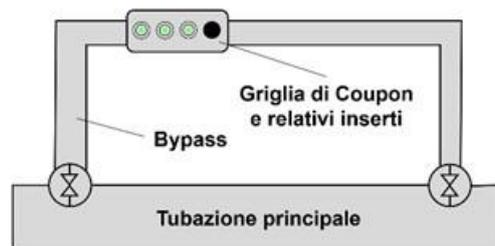


Figura 3: Coupon rack installato in un bypass dell'impianto

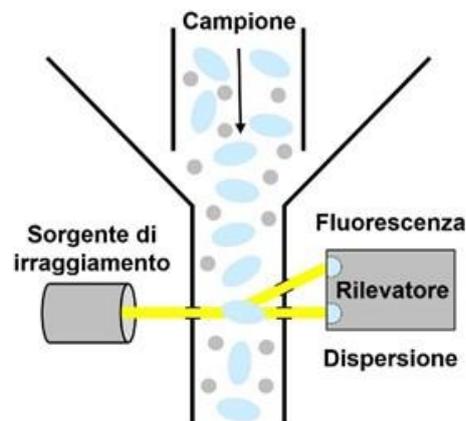


Figura 4: Citometria a flusso



Figura 5: Biocidi

Il cloro è uno dei biocidi ossidanti più popolari utilizzati nelle TR. Uno dei principali vantaggi della clorazione è rappresentato dalla sua efficacia nell'inattivare un'ampia gamma di microrganismi. D'altra parte, porta alla formazione di sottoprodotti dannosi (*disinfection by-products*, DBP) e aumenta i tassi di corrosione. Temperature o pH elevati, condizioni comuni per le torri di raffreddamento, riducono l'efficacia della clorazione. Il biossido di cloro è più efficace del cloro, anche a concentrazioni più basse. Esso è stato ampiamente utilizzato come disinfettante in molte applicazioni, dalla potabilizzazione dell'acqua al trattamento dei reflui industriali. La formazione di DBP è inferiore con il biossido di cloro, in ragione della sua minore reattività con la materia organica. Ultimo punto,

ma non per importanza, questo biocida è efficace in un ampio intervallo di pH.

L'ozono è uno dei biocidi ossidanti più utilizzati nel trattamento delle acque, poiché mostra un'efficacia superiore al cloro, anche a basse concentrazioni. È stato dimostrato come un dosaggio compreso tra 0.2 e 0.5 mg/L sia in grado di controllare in maniera soddisfacente la crescita di biofouling, anche in applicazioni con un elevato carico biologico. A causa della sua rapida decomposizione, è spesso associato ad altri disinfettanti.

L'isotiazolinone è utilizzato per il controllo microbico in numerosi trattamenti delle acque industriali. Studi di laboratorio e di campo hanno mostrato eccellenti risultati per quanto riguarda il controllo della crescita algale nelle TR. Gli isotiazoloni sono compatibili con materiali da costruzione, membrane a scambio ionico e di ultrafiltrazione. Sono degradati da agenti riducenti e pH elevato (>9). Generalmente si decompongono rapidamente negli ambienti acquatici in sottoprodotti non tossici.

La ionizzazione rame-argento rappresenta un metodo alternativo di sanificazione, che induce la dissoluzione controllata degli elettrodi di argento e rame. Il rilascio di tali ioni nell'acqua uccide i batteri. Sfortunatamente, un pH elevato può inattivare questo metodo. Anche nelle migliori condizioni, questa opzione è considerata meno efficace della maggior parte dei biocidi chimici.

Tra i metodi fisici, l'irradiazione UV è una delle tecniche più ampiamente applicate nel trattamento delle acque. Viene generalmente utilizzata per sterilizzare acqua pulita, come quella potabile o distillata, dove risulta efficace e piuttosto veloce. Può essere applicata anche all'acqua di raffreddamento sebbene, in questo caso, l'UV risulti generalmente meno efficace rispetto ai biocidi. Ciò è dovuto principalmente all'insufficiente penetrazione della luce nell'acqua torbida. Gli studi hanno dimostrato come, in alcune condizioni, questo metodo non sia stato in grado di impedire la propagazione della Legionella, né di impedire la formazione di biofilm sulle superfici interne della torre di raffreddamento.



Figura 6: Irradiazione UV

Un ulteriore trattamento fisico che ha ricevuto una certa attenzione è la generazione di impulsi elettrici. Questo metodo si basa su campi elettrici pulsati ad alta tensione inviati attraverso l'acqua, per creare pori nella membrana cellulare, con conseguente lisi della cellula. Più impulsi ad alta intensità si sono dimostrati in grado di causare danni maggiori rispetto ad impulsi elettrici singoli.

## Conclusioni

Il controllo della proliferazione batterica nelle torri di raffreddamento è di primaria importanza, sia per la sicurezza pubblica che per la funzionalità del sistema. La crescita batterica e, in particolare, il biofilm, devono essere tenuti sotto controllo quanto più possibile, a partire dalle primissime fasi.

Monitorando la crescita batterica sulle superfici in tempo reale, i Sensori ALVIM consentono di prevenire i problemi legati al biofilm, tra cui la contaminazione da Legionella e la corrosione microbiologicamente indotta. Allo stesso tempo, questa Tecnologia permette di verificare l'efficacia

dei trattamenti di sanificazione. Il Sistema di Monitoraggio del Biofilm ALVIM è utilizzato in più di 30 Paesi, in tutto il mondo. Sono disponibili casi applicativi sia per [torri di raffreddamento aperte](#) che per [torri di raffreddamento a circuito chiuso](#).

**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](mailto:info@alvim.it) | [www.alvim.it](http://www.alvim.it) | [www.linkedin.com/company/alvimbiosensors](https://www.linkedin.com/company/alvimbiosensors)**