

## [ Gestione dell'acqua nei Data Center ]

*In breve. I moderni data center devono affrontare una crescita rapida della domanda di raffreddamento a causa dell'aumento della densità dei server, in particolare per applicazioni di intelligenza artificiale e calcolo ad alte prestazioni, rendendo il raffreddamento ad acqua essenziale per una dissipazione efficiente del calore. L'elevata capacità termica specifica dell'acqua la rende un vettore termico superiore, ma il suo uso intensivo introduce vulnerabilità legate alla qualità dell'acqua e all'affidabilità dei sistemi. I circuiti di raffreddamento – che comprendono scambiatori, torri di raffreddamento e tubazioni – sono soggetti alla crescita microbica e alla formazione di biofilm sulle superfici interne, con conseguente riduzione dello scambio termico, aumento dei consumi energetici e accelerazione della corrosione. Le misure tradizionali di qualità dell'acqua spesso non rilevano il biofilm sulle superfici, rendendo fondamentale un monitoraggio continuo e intelligente. Questo articolo illustra tecnologie di raffreddamento avanzate, dalle torri di raffreddamento ai sistemi direct-to-chip e a immersione, con un focus sull'importanza di un trattamento proattivo dell'acqua che integri strategie chimiche, fisiche e di rilevamento del biofilm. I Sensori ALVIM di Biofilm forniscono un rilevamento in tempo reale specifico per le superfici, consentendo interventi precoci, uso ottimizzato dei biocidi, riduzione dei costi operativi e miglioramento delle prestazioni termiche. La gestione proattiva del biofilm è un elemento chiave per un funzionamento stabile ed efficiente dal punto di vista energetico dei data center.*

Nel panorama digitale odierno, i data center rappresentano l'infrastruttura critica che supporta ogni attività basata sui dati. La domanda globale di potenza di calcolo è in rapido aumento, trainata dall'espansione dei servizi cloud, dalla digitalizzazione dei processi industriali e, soprattutto, dalla diffusione su larga scala di tecnologie ad alta intensità computazionale come l'intelligenza artificiale (AI). Di conseguenza, la densità di potenza all'interno dei rack dei data center è cresciuta in modo significativo, con sistemi dedicati all'AI che superano già le soglie gestibili efficacemente con il solo raffreddamento ad aria. Questo cambiamento sta accelerando l'adozione di tecnologie di raffreddamento a liquido. Soluzioni quali torri di raffreddamento evaporative, circuiti di raffreddamento ad alta efficienza, scambiatori di calore aria-acqua *in-row* o *in-rack* e, soprattutto, il raffreddamento a liquido diretto sul chip (*direct-to-chip*) stanno diventando standard di settore per la gestione di densità di rack superiori a 80 kW e fino a 200 kW nelle configurazioni più avanzate. La densità di potenza dei rack di server, in particolare quelli dedicati ai carichi di lavoro AI, è cresciuta in modo drastico negli ultimi anni, trasformando il raffreddamento da un semplice requisito ingegneristico ad una vera e propria sfida tecnologica. In questo contesto, l'acqua è diventata il vettore termico più efficace a disposizione del settore, grazie alla sua capacità termica specifica oltre 3.500 volte superiore a quella dell'aria. Tuttavia, l'uso sempre più intensivo dell'acqua introduce anche vulnerabilità operative che non possono essere trascurate. La qualità dell'acqua influisce non solo sull'efficienza energetica dell'infrastruttura di raffreddamento, ma anche sulla sua affidabilità complessiva.

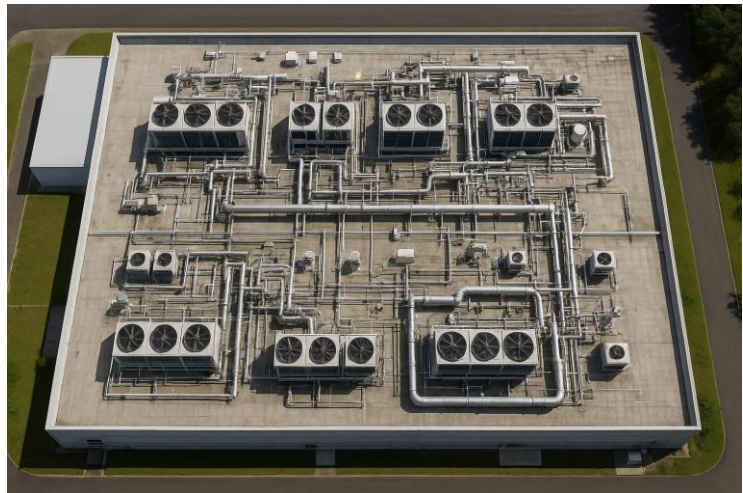


Figura 1: Data center

## Gestione delle risorse idriche nei Data Center

Nella gestione termica di un data center, l'acqua rappresenta il mezzo più efficace per il trasporto del calore generato dai server. La Figura 2 riportata di seguito chiarisce il modo in cui questi flussi liquidi scorrono all'interno dell'infrastruttura di raffreddamento, mostrando come l'intero sistema si basi su una sequenza continua di trasformazioni termiche strettamente coordinate. Al centro del sistema vi sono i server, che rilasciano calore nell'ambiente e riscaldano l'aria circostante. Questa aria calda viene aspirata e convogliata verso un'unità di trattamento dell'aria, dove uno scambiatore di calore ad acqua rimuove l'energia termica in eccesso. Man mano che l'acqua all'interno dello scambiatore assorbe calore, scorre lungo il circuito e viene convogliata verso l'esterno dell'edificio, raggiungendo la torre di raffreddamento. Qui il calore accumulato viene dissipato attraverso il principio dell'evaporazione: una parte dell'acqua cede il proprio calore latente all'aria in movimento e

***L'acqua è diventata il vettore termico più efficace a disposizione del settore, grazie alla sua capacità termica specifica oltre 3.500 volte superiore a quella dell'aria***

si raffredda. Il diagramma mostra come la torre di raffreddamento funzioni da dissipatore naturale, [come illustrato in un precedente articolo](#). L'acqua calda entra dalla parte superiore, viene nebulizzata all'interno della torre ed entra in contatto con un flusso d'aria ascendente che favorisce l'evaporazione e il raffreddamento. L'acqua raffreddata viene quindi raccolta nella vasca inferiore e pompata nuovamente nel sistema, tornando allo scambiatore di calore all'interno del data center e chiudendo il circuito. Allo stesso tempo, la Figura 2 evidenzia il flusso d'aria all'interno della sala server, identificato nel diagramma dalle frecce blu e rosse più spesse. L'aria raffreddata fornita dal sistema attraversa i rack assorbe calore, si riscalda e ritorna all'area di condizionamento. Questo doppio circuito aria-acqua opera in sinergia per garantire temperature stabili dei server e il funzionamento continuo dell'intera infrastruttura.

Il diagramma mostra come la torre di raffreddamento funzioni da dissipatore naturale, [come illustrato in un precedente articolo](#). L'acqua calda entra dalla parte superiore, viene nebulizzata all'interno della torre ed entra in contatto con un flusso d'aria ascendente che favorisce l'evaporazione e il raffreddamento. L'acqua raffreddata viene quindi raccolta nella vasca inferiore e pompata nuovamente nel sistema, tornando allo scambiatore di calore all'interno del data center e chiudendo il circuito. Allo stesso tempo, la Figura 2 evidenzia il flusso d'aria all'interno della sala server, identificato nel diagramma dalle frecce blu e rosse più spesse. L'aria raffreddata fornita dal sistema attraversa i rack assorbe calore, si riscalda e ritorna all'area di condizionamento. Questo doppio circuito aria-acqua opera in sinergia per garantire temperature stabili dei server e il funzionamento continuo dell'intera infrastruttura.

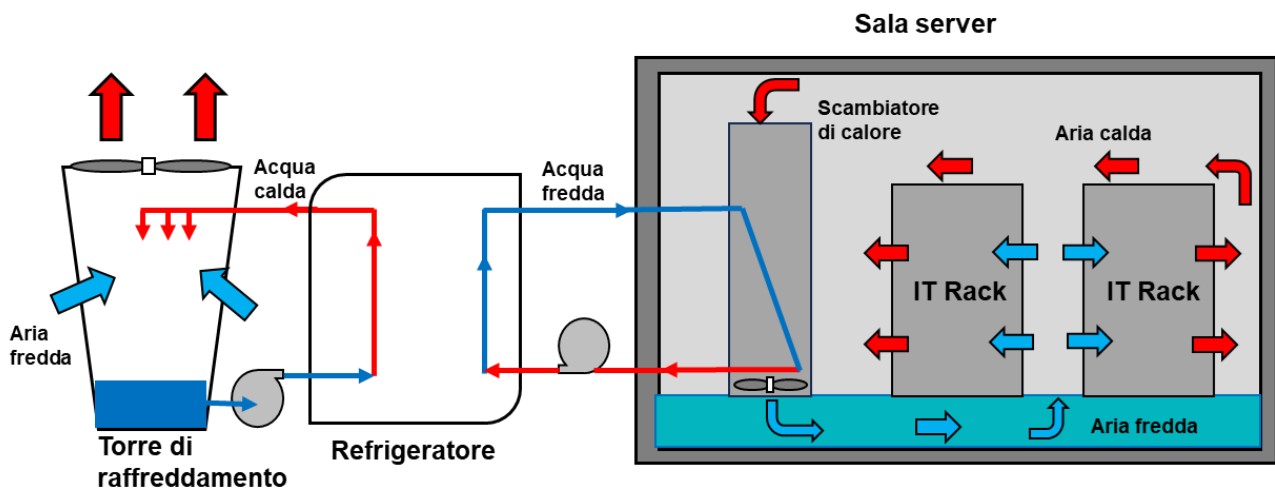


Figura 2: Schema di funzionamento dell'acqua di raffreddamento nei data center

Sebbene il processo appaia lineare, ogni parte del circuito idrico rappresenta un potenziale punto di vulnerabilità. Le superfici interne di tubazioni, vasche e scambiatori di calore costituiscono ambienti ideali per la formazione di uno strato batterico comunemente noto come "biofilm". Come ampiamente dimostrato, anche uno strato molto sottile può compromettere in modo significativo la capacità di raffreddamento, aumentando il fabbisogno energetico e sottoponendo le apparecchiature di raffreddamento a un maggiore stress operativo. La comprensione del percorso dell'acqua, così come riassunto nel diagramma, rende più semplice individuare i punti critici in cui il monitoraggio del biofilm diventa essenziale. Ogni componente, dalla torre di raffreddamento allo scambiatore di calore, crea condizioni favorevoli alla proliferazione microbica, con il rischio di compromettere la

stabilità termica dell'intero data center. Per questo motivo, il monitoraggio continuo e intelligente della qualità dell'acqua non è più un'opzione, ma un requisito fondamentale per garantire prestazioni stabili, ridurre i costi operativi e prolungare la vita utile dell'infrastruttura.

La Tabella 1 riportata di seguito riassume e mette a confronto le principali tecnologie di raffreddamento utilizzate nei data center, evidenziandone i principi di funzionamento, i principali vantaggi e i tipici scenari applicativi. La tabella fornisce una panoramica coerente dell'evoluzione delle soluzioni di raffreddamento, riflettendo direttamente l'aumento della densità di potenza dei carichi di lavoro IT (*Information Technology*) e la graduale transizione dai sistemi basati sull'aria verso tecnologie di raffreddamento a liquido sempre più avanzate. Come mostrato nella tabella, le tecnologie di raffreddamento a livello di impianto, quali le torri di raffreddamento e i sistemi basati su *chiller*, svolgono un ruolo fondamentale nello smaltimento del carico termico complessivo del data center. Le torri di raffreddamento evaporative, identificate nella tabella come soluzioni ad alta efficienza energetica, sono particolarmente adatte ai data center di medie e grandi dimensioni, dove è richiesta una dissipazione del calore su larga scala. I circuiti frigoriferi basati su *chiller*, anch'essi descritti nella tabella, operano come sistemi chiusi e garantiscono un controllo preciso della temperatura dell'acqua di mandata, rendendoli una scelta preferenziale per ambienti *high-availability* e *mission-critical*. Inoltre, la tabella illustra come, a livello di sala IT, le soluzioni di raffreddamento *in-rack* introducano un approccio più mirato alla gestione termica, risultando idonee per data center a densità medio-alta. Lo scambiatore di calore intercetta l'energia termica dell'aria di espulsione direttamente alla fonte, riducendo il carico sui sistemi CRAC (*Computer Room Air Conditioner*) e consentendo il supporto di rack ad alta densità senza significative modifiche strutturali. Inoltre, il raffreddamento a liquido diretto sul chip (*direct-to-chip*) rappresenta un elemento chiave per i carichi di lavoro computazionali più esigenti. Convogliando l'acqua direttamente verso CPU (*Central Processing Unit*) e GPU (*Graphics Processing Unit*) tramite piastre fredde, questa tecnologia raggiunge la massima efficienza termica e consente densità di potenza per rack superiori a 80–200 kW, rendendola particolarmente adatta a sistemi di intelligenza artificiale, ambienti HPC (*High Performance Computing*) e applicazioni di supercalcolo. La tecnologia più avanzata riportata nella tabella è, infine, il raffreddamento a immersione, in cui i server sono completamente immersi in fluidi dielettrici. Questo approccio consente prestazioni termiche estreme e densità di potenza molto elevate, riducendo al contempo il numero di parti in movimento, e risulta pertanto particolarmente indicato per applicazioni AI e HPC di fascia alta. Nel complesso, la tabella illustra in modo chiaro la relazione tra requisiti computazionali, densità di potenza e architetture di raffreddamento. In questo contesto, il raffreddamento emerge come un elemento chiave, essenziale per garantire prestazioni, sostenibilità e flessibilità a lungo termine dei data center del futuro.

***Il raffreddamento emerge come un elemento chiave, essenziale per garantire prestazioni, sostenibilità e flessibilità operativa a lungo termine dei data center del futuro***

| Tecnologia                                    | Descrizione  | Vantaggi chiave  | Applicazioni                                     |
|---|--|--|--|
| Torre di raffreddamento                       | Espelle il calore tramite raffreddamento ad acqua che evapora nel circuito primario          | Elevata efficienza energetica, adatta per grandi gestioni termiche           | Data center di medie/grandi dimensioni           |
| Circuito di refrigerazione/raffreddamento     | Sistema chiuso che utilizza refrigeranti per mantenere costante la temperatura dell'acqua    | Controllo preciso del raffreddamento, integrazione con raffreddamento libero | Data center <i>high-availability</i>             |
| Raffreddamento <i>in-row</i> / <i>in-rack</i> | Scambiatori di calore aria-acqua installati tra o all'interno di rack dei server             | Mitigazione dei punti caldi, gestione termica modulare                       | Data center a densità medio-alta                 |
| <i>Rear Door Heat Exchanger</i> (RDHx)        | Scambiatore di calore montato sulla porta posteriore per raffreddare l'aria calda di scarico | Basso carico sul CRAC  | Data center con rack ad alta densità             |
| Raffreddamento a liquido diretto al chip      | Acqua erogata direttamente a CPU e GPU tramite piastre fredde e micro-canali                 | Massima efficienza termica > 80-200 kW / rack                                | Sistemi AI, HPC, supercomputer                   |
| Raffreddamento a immersione                   | Server completamente immersi nel fluido dielettrico  | Prestazioni estreme, densità molto elevata, meno parti mobili                | HPC di fascia alta, carichi di lavoro AI estremi |

Tabella 1. Principali tecnologie di raffreddamento nei data center

## Processi di trattamento dell'acqua nei Data Center

Nei data center moderni, il trattamento dell'acqua nei circuiti di raffreddamento segue una sequenza di operazioni strettamente regolamentata, progettata per garantire l'efficienza termica prevenendo al contempo corrosione, incrostazioni e proliferazione microbologica. Il processo in genere inizia con il campionamento ed una diagnostica chimico-microbiologica completa, seguito da cicli dinamici di lavaggio e pulizia mediante detergenti alcalini o a base di tensioattivi, combinati con biocidi ad ampio spettro per rimuovere eventuali depositi presenti. I passaggi successivi comprendono lo svuotamento del sistema, il risciacquo e il rabbocco, con l'aggiunta di additivi alcalinizzanti o a base acida per la rimozione delle incrostazioni, sotto controllo del pH, al fine di eliminare i residui di ossidazione e stabilizzare le superfici metalliche, prevenendo la corrosione. Le fasi finali prevedono procedure di passivazione mediante lavaggi con inibitori a base di molibdato per favorire la formazione di strati protettivi anticorrosione, accompagnate da controlli analitici di routine per verificare l'equilibrio chimico, il carico microbico e l'assenza di ricrescita di biofilm. Tra i principali fattori di rischio nei moderni circuiti di raffreddamento emerge infatti la formazione di biofilm. Il biofilm è un aggregato complesso di microrganismi racchiusi in una matrice polisaccaridica autoprodotta, in grado di aderire saldamente alle superfici interne di tubazioni, scambiatori di calore e componenti idraulici. A differenza dei batteri liberi in sospensione, il biofilm si comporta come un micro-ecosistema protetto, con una resistenza ai biocidi fino a mille volte superiore. La sua capacità di sopravvivere in ambienti con pochi nutrienti, temperature moderate e bassa turbolenza lo rende particolarmente problematico nei circuiti idrici dei data center. Dal punto di vista termico, uno strato di biofilm spesso appena 20  $\mu\text{m}$  può ridurre l'efficienza dello scambio termico del 30%, aumentando significativamente il consumo energetico dei sistemi di raffreddamento. Nei sistemi di raffreddamento a liquido diretto sul chip, dove canali e micro-canali hanno sezioni estremamente

ridotte, il biofilm può causare blocchi, riduzione del flusso, sovraccarico delle pompe e persino surriscaldamento dei chip critici. Nelle torri di raffreddamento evaporative, oltre alla perdita di efficienza, il biofilm crea un ambiente favorevole alla crescita di patogeni come *Legionella pneumophila*, introducendo potenziali rischi per la salute e responsabilità penali per gli operatori. Senza un monitoraggio continuo e mirato, la crescita del biofilm diventa un fenomeno progressivo, spesso non rilevato fino alla comparsa di problemi gravi: diminuzione delle prestazioni di raffreddamento, aumento del consumo idrico, accelerazione della corrosione MIC (*Microbiologically Influenced Corrosion*) e rapida crescita dei costi operativi e di manutenzione. Per queste ragioni, i data center moderni riconoscono sempre più l'importanza di strategie avanzate di gestione dell'acqua basate su diagnostica predittiva, in cui i sensori dedicati al biofilm rappresentano una tecnologia strategica. A differenza dei parametri tradizionali della qualità dell'acqua (torbidità, potenziale redox, concentrazione residua di biocidi), i sensori di biofilm forniscono una misura diretta della crescita biologica, in tempo reale e specifica sulle superfici, permettendo interventi correttivi tempestivi e precisi. Il monitoraggio del biofilm diventa quindi un elemento essenziale per garantire la continuità dei sistemi di raffreddamento, ridurre l'impatto ambientale, ottimizzare l'uso dell'acqua e prolungare la vita utile delle infrastrutture. Il trattamento dell'acqua generalmente inizia con il condizionamento chimico finalizzato a mantenere il giusto equilibrio tra inibizione della corrosione, prevenzione delle incrostazioni e controllo microbiologico. Gli inibitori di corrosione spesso a base di fosfati, molibdati o film organici, vengono introdotti per proteggere le superfici metalliche dall'ossidazione e dalla corrosione puntiforme, in particolare nei sistemi

contenenti componenti in acciaio, rame o alluminio. Gli inibitori di incrostazioni, invece, prevengono la precipitazione di calcio, magnesio e silice, che altrimenti rivestirebbero le superfici degli scambiatori di calore riducendo significativamente le prestazioni termiche. Uno degli aspetti più critici del trattamento dell'acqua nei data center è, tuttavia, il controllo biologico. I microrganismi naturalmente presenti nell'acqua possono proliferare rapidamente, soprattutto in ambienti caldi e ricchi di nutrienti, come torri di raffreddamento o tratti di tubazioni a bassa velocità. Se non controllati, questi microrganismi formano il biofilm. In questo contesto, [i biocidi svolgono un ruolo centrale, come discusso in un precedente white paper](#). Si tratta di sostanze chimiche progettate per eliminare o inibire la crescita microbica. Nei data center si utilizza tipicamente una combinazione di biocidi ossidanti (cloro, bromo o biossido di cloro) e biocidi non ossidanti che attaccano il metabolismo microbico in modo complementare. L'alternanza di diverse classi di biocidi aiuta ad evitare fenomeni di resistenza e garantisce una copertura microbiologica più ampia. Oltre ai trattamenti chimici, vengono impiegati anche processi meccanici e fisici. I sistemi di filtrazione rimuovono i solidi sospesi

che possono fungere da nutrienti per i microrganismi o da nuclei per depositi negli scambiatori di calore. I filtri laterali trattano continuamente una porzione dell'acqua circolante, prevenendo l'accumulo graduale di particelle. Alcune strutture adottano anche la disinfezione UV-C per ridurre il carico microbico senza aggiungere sostanze chimiche, mentre altre utilizzano sistemi magnetici o elettrochimici per mitigare la formazione di incrostazioni. Nonostante l'ampio utilizzo di questi metodi, il

trattamento tradizionale dell'acqua presenta limiti strutturali. La maggior parte delle misurazioni usuali (conduttività, pH, residui di biocidi, torbidità, ecc.) si concentra sulla fase liquida, senza considerare ciò che avviene sulle superfici dei componenti idraulici. È qui che risiede la causa principale della maggior parte dei problemi microbiologici: solo il 10% dei batteri vive libero nell'acqua, mentre il 90% di essi aderisce alle superfici. Il [monitoraggio del biofilm](#) supporta gli

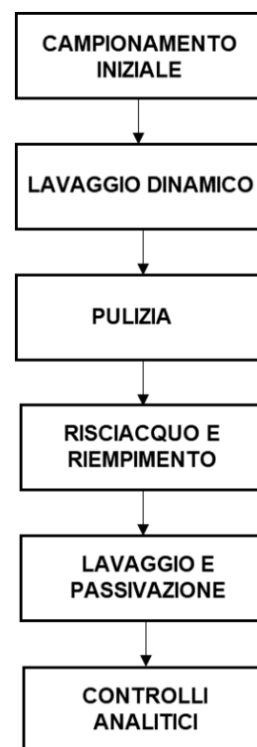


Figura 3: Schema di trattamento dell'acqua per il raffreddamento dei Data Center

**Il monitoraggio continuo e intelligente del sistema di raffreddamento dell'acqua è ormai un requisito fondamentale**

operatori nell'individuare questo fenomeno biologico prima che cambiamenti nella qualità dell'acqua o nelle prestazioni del sistema lo rendano visibile, consentendo interventi mirati, riducendo l'uso eccessivo di prodotti chimici e mantenendo un funzionamento continuo ed efficiente dal punto di vista energetico del sistema di raffreddamento. In un settore in cui anche un lieve aumento della resistenza termica può tradursi in costi energetici significativi, il corretto trattamento dell'acqua non è semplicemente un'attività di manutenzione. Il monitoraggio continuo e intelligente dei sistemi di acqua di raffreddamento è oggi un requisito fondamentale per garantire prestazioni termiche stabili, ridurre i costi operativi e prolungare la vita utile dell'infrastruttura di raffreddamento dei data center.

## Monitoraggio del biofilm nei Data Center

I Sensori ALVIM rappresentano una soluzione tecnologica avanzata per i data center moderni, offrendo un monitoraggio diretto della formazione di biofilm all'interno dei circuiti idrici, in tempo reale e specifico per superfici. A differenza dei parametri tradizionali di qualità dell'acqua, quali torbidità, potenziale redox o concentrazione residua di biocidi, che forniscono solo indicazioni indirette sulla proliferazione microbiologica, i Sensori ALVIM rilevano la crescita batterica esattamente dove è più rilevante: sulle superfici interne delle tubazioni e di altri componenti idraulici. Questo monitoraggio diretto consente l'identificazione precoce dello sviluppo del biofilm, molto prima che diventi visibile o influisca sulle prestazioni del sistema. Rilevando il biofilm nelle sue fasi iniziali, gli operatori possono attuare azioni correttive mirate, come dosaggi selettivi di biocidi, interventi di pulizia meccanica o regolazioni dei flussi. Questo approccio intelligente permette di prevenire la perdita di efficienza termica, il sovraconsumo energetico e l'accelerazione dei fenomeni corrosivi. I Sensori ALVIM forniscono una visione continua dello stato biologico del sistema, abilitando una gestione dell'acqua

***I Sensori ALVIM forniscono informazioni continue sullo stato biologico del sistema, consentendo una gestione dell'acqua predittiva e proattiva***

trasformano la gestione idrica da attività reattiva a sistema proattivo e intelligente, garantendo continuità operativa, prestazioni di raffreddamento stabili e affidabilità a lungo termine in ambienti tecnologici sempre più esigenti.

## Conclusioni

Il rapido aumento della densità di potenza e del carico termico nei data center moderni – guidato da applicazioni di intelligenza artificiale, HPC e altre tecnologie ad alta intensità computazionale – ha reso i sistemi di raffreddamento ad acqua un elemento critico per la continuità operativa e l'efficienza energetica. Nonostante strategie consolidate di trattamento chimico e meccanico dell'acqua, la formazione di biofilm sulle superfici interne rimane un fattore di rischio persistente, in grado di ridurre l'efficienza dello scambio termico, aumentare i consumi energetici, accelerare i fenomeni di corrosione e incrementare i costi operativi. I Sensori ALVIM offrono una soluzione tecnicamente avanzata a questa criticità, consentendo il [monitoraggio in tempo reale della formazione di biofilm](#).



*Figura 4: Sensori ALVIM di Biofilm*

predittiva e proattiva. Tale approccio ottimizza l'uso dei prodotti chimici, riduce l'impatto ambientale e prolunga la vita operativa delle infrastrutture *mission-critical*. In scenari di raffreddamento ad alta densità, come server per l'AI o cluster HPC, in cui anche piccoli aumenti della resistenza termica possono incidere in modo significativo sull'efficienza energetica, l'integrazione della Tecnologia ALVIM offre un vantaggio competitivo concreto. Integrandosi con le strategie convenzionali di trattamento dell'acqua, i Sensori ALVIM

Rilevando la crescita microbica nelle sue fasi più precoci, queste sonde permettono agli operatori di attuare interventi predittivi e mirati, ottimizzando il dosaggio dei biocidi, i cicli di manutenzione e le prestazioni idrauliche. Ciò consente di ridurre l'uso non necessario di sostanze chimiche, minimizzare l'impatto ambientale e garantire la stabilità termica del sistema anche in condizioni di elevata densità di potenza. Dal punto di vista tecnico, l'integrazione della Tecnologia ALVIM nel framework di gestione dell'acqua trasforma la manutenzione reattiva in una strategia proattiva e basata sui dati, migliorando l'affidabilità del sistema, prolungando la vita utile di scambiatori di calore e tubazioni e prevenendo incidenti durante le attività prima che vengano raggiunte soglie critiche. In sintesi, i Sensori ALVIM di Biofilm rappresentano un promotore tecnologico strategico: integrano gli approcci convenzionali di trattamento dell'acqua, forniscono informazioni operative direttamente a livello di superficie e garantiscono un funzionamento dei sistemi di raffreddamento stabile, efficiente dal punto di vista energetico e resiliente nei data center ad alte prestazioni ed alta densità.

**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/alvimbiofilmsensors](https://www.linkedin.com/company/alvimbiofilmsensors)**