

---

## SINTESI

Questo documento di riferimento sull'applicazione delle migliori tecniche disponibili ai sistemi di raffreddamento industriali (BREF) è il risultato dello scambio di informazioni svoltosi ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 2, della direttiva 96/61/CE del Consiglio sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (direttiva IPPC). Il documento deve essere interpretato alla luce della prefazione, che ne descrive gli obiettivi e l'uso.

Nel quadro della prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, il raffreddamento industriale è stato individuato come questione orizzontale. Ciò significa che in questo documento le "migliori tecniche disponibili" (BAT) sono valutate senza un esame approfondito del processo industriale che deve essere sottoposto a raffreddamento. Tuttavia, le BAT per un sistema di raffreddamento sono considerate nell'ambito dei requisiti di raffreddamento del processo industriale. Si riconosce che le BAT per raffreddare un processo sono una questione complessa che richiede un'attenta valutazione dei requisiti di raffreddamento del processo, dei fattori specifici dell'impianto e dei requisiti ambientali per consentire l'applicazione di queste tecniche in condizioni tecnicamente ed economicamente redditizie.

L'espressione "sistemi di raffreddamento industriali" si riferisce ai sistemi per eliminare il calore in eccesso da qualsiasi mezzo di processo, utilizzando lo scambio di calore con acqua e/o aria per ridurre la temperatura del mezzo ai livelli di quella ambiente.

Nel presente documento sono descritte le BAT per i sistemi di raffreddamento che funzionano come sistemi ausiliari per il normale funzionamento di un processo industriale. Si riconosce che l'affidabilità del funzionamento di un sistema di raffreddamento ha effetti positivi sull'affidabilità del processo industriale. Nel presente BREF non viene tuttavia esaminato il funzionamento di un sistema di raffreddamento in relazione alla sicurezza del processo.

Questo documento presenta un approccio integrato per determinare le BAT per i sistemi di raffreddamento industriali riconoscendo che la soluzione finale in materia è sostanzialmente specifica per ogni impianto. Rispetto alla scelta di un sistema di raffreddamento, questo approccio esamina soltanto gli elementi legati alle prestazioni ambientali del sistema, anziché scegliere e definire adatto o meno qualsiasi sistema di raffreddamento applicato. Nei casi in cui sono applicate misure di riduzione, l'approccio BAT cerca di evidenziare gli effetti su altri comparti ambientali associati, sottolineando in questo modo il fatto che la riduzione delle varie emissioni dei sistemi di raffreddamento richiede una valutazione di tutti gli aspetti della questione.

I cinque capitoli del documento principale descrivono i parametri principali dell'approccio BAT, i sistemi di raffreddamento e i loro aspetti ambientali, i principali risultati BAT e le conclusioni e raccomandazioni per ulteriori lavori. Undici allegati forniscono informazioni di riferimento che riguardano aspetti specifici della progettazione e del funzionamento dei sistemi di raffreddamento ed esempi per illustrare l'approccio basato sulle BAT.

### **1. Approccio integrato**

L'approccio integrato basato sulle BAT valuta le prestazioni ambientali dei sistemi di raffreddamento nel contesto delle prestazioni ambientali complessive di un processo industriale, e il suo obiettivo è ridurre al minimo gli effetti diretti e indiretti del funzionamento di un sistema di raffreddamento. Esso si basa sull'esperienza che le prestazioni ambientali del raffreddamento di un processo dipendono in larga misura dalla scelta e dalla progettazione del sistema di raffreddamento. Per i nuovi impianti l'approccio è incentrato quindi sulla prevenzione delle emissioni attraverso la scelta di un'adeguata configurazione del raffreddamento e una corretta progettazione e costruzione del sistema di raffreddamento. Inoltre, la riduzione delle emissioni si ottiene ottimizzando il funzionamento quotidiano.

---

Per i sistemi di raffreddamento esistenti, vi sono a breve termine minori possibilità di prevenzione tramite l'applicazione di misure tecnologiche e l'accento viene posto sulla riduzione delle emissioni attraverso l'ottimizzazione del funzionamento e del controllo dei sistemi. Per i sistemi esistenti, molti parametri quali spazio, disponibilità delle risorse operative e vincoli legislativi vigenti possono essere fissi e quindi la possibilità di modifiche è molto limitata. Tuttavia, l'approccio generale basato sulle BAT descritto nel presente documento può essere considerato un obiettivo a lungo termine, che si adatta ai cicli di sostituzione delle apparecchiature degli impianti esistenti.

L'approccio BAT riconosce che il raffreddamento è un fattore essenziale di molti processi industriali e che deve essere considerato un elemento importante nella gestione energetica globale. L'uso efficiente dell'energia nei processi industriali è molto importante per l'ambiente e il rapporto costi/benefici. Le BAT significano innanzitutto che, prima di adottare misure per ottimizzare il sistema di raffreddamento, si deve prestare attenzione all'efficienza energetica complessiva del processo industriale o produttivo. Per aumentare l'efficienza energetica complessiva, l'industria mira a ridurre la quantità di calore non recuperabile applicando adeguati metodi di gestione dell'energia e adottando una serie di programmi integrati di risparmio energetico, tra cui lo scambio di energia tra le varie unità del processo industriale o produttivo sottoposto a raffreddamento e collegamenti al di fuori di questo processo con altri processi contigui. Esiste una tendenza verso un concetto di recupero del calore per regioni industriali quando gli impianti industriali sono interconnessi o legati al riscaldamento urbano o alla coltivazione in serre. Quando non è possibile alcun ulteriore recupero o riutilizzo, il calore può essere rilasciato nell'ambiente.

Viene operata una distinzione tra calore non recuperabile di livello basso (10-25 °C), medio (25-60 °C) o elevato (60 °C). In genere, si usano sistemi di raffreddamento a umido per il calore di livello basso e sistemi a secco per il calore di livello elevato. Per il livello medio non viene privilegiato alcun principio di raffreddamento particolare e si possono trovare diverse configurazioni.

Dopo l'ottimizzazione dell'efficienza energetica complessiva del processo industriale o produttivo rimane del calore non recuperabile di quantità e livello determinati e si può compiere una prima scelta della configurazione di raffreddamento per dissiparlo tenendo conto di:

- i requisiti di raffreddamento del processo,
- le limitazioni del sito (compresa la normativa locale),
- i requisiti ambientali.

Per assicurare condizioni di affidabilità del processo, compreso l'avvio e l'arresto, si devono sempre soddisfare i requisiti di raffreddamento del processo industriale o produttivo. La temperatura minima di processo e la capacità di raffreddamento necessarie devono sempre essere garantite in modo da migliorare l'efficienza del processo industriale o produttivo e ridurre le perdite di prodotto e le emissioni nell'ambiente. Più questi processi sono sensibili alla temperatura, maggiore è l'importanza di questo aspetto.

Le condizioni del sito limitano le opzioni di progettazione e le possibili modalità di funzionamento di un sistema di raffreddamento. Queste condizioni sono definite dal clima locale, dalla disponibilità di acqua per il raffreddamento e lo scarico, dallo spazio disponibile per le strutture e dalla sensibilità della zona circostante alle emissioni. A seconda delle esigenze di raffreddamento del processo e della capacità di raffreddamento necessaria, la scelta del sito per un nuovo impianto può rivestire un'enorme importanza (per esempio, presenza di una fonte abbondante di acqua fredda). Nei casi in cui la scelta di un sito è determinata da altri criteri o nel caso di sistemi di raffreddamento esistenti, i requisiti di raffreddamento del processo e le caratteristiche del sito sono fissi.

Per il raffreddamento è importante il clima locale, che influisce sulla temperatura dell'acqua e dell'aria di raffreddamento. Il clima locale è caratterizzato dall'andamento delle temperature di

---

bulbo umido e di bulbo secco. In genere, i sistemi di raffreddamento sono progettati in modo da soddisfare i requisiti di raffreddamento nelle condizioni climatiche meno favorevoli che possono verificarsi a livello locale, quali le massime temperature di bulbo umido e di bulbo secco.

La fase successiva nella scelta e progettazione di un sistema di raffreddamento è volta a soddisfare i requisiti BAT, tenendo conto dei requisiti del processo che deve essere sottoposto a raffreddamento e dei limiti del sito. Questo significa che l'attenzione è riservata alla scelta di materiale e apparecchiature adeguati per ridurre le esigenze di manutenzione, facilitare il funzionamento del sistema di raffreddamento e rispettare i requisiti ambientali. Oltre al rilascio del calore nell'ambiente si possono verificare altri effetti ambientali quali l'emissione degli additivi usati per il condizionamento dei sistemi di raffreddamento. Si sottolinea il fatto che se è possibile ridurre la quantità e il livello del calore da dissipare, l'impatto ambientale del sistema di raffreddamento industriale risulta essere minore.

I principi dell'approccio basato sulle BAT si possono applicare altresì ai sistemi di raffreddamento esistenti. Possono essere disponibili opzioni tecnologiche, quali un cambiamento della tecnologia di raffreddamento, una sostituzione o modifica delle apparecchiature esistenti o dei prodotti chimici usati, che si possono applicare però solo entro un certo limite.

## **2. Sistemi di raffreddamento applicati**

I sistemi di raffreddamento si basano su principi termodinamici e sono progettati per facilitare lo scambio di calore tra processo e refrigerante e per favorire il rilascio nell'ambiente del calore non recuperabile. I sistemi di raffreddamento industriali si possono classificare in base alla concezione e al principio di raffreddamento principale: uso di acqua o aria o una combinazione di acqua e aria come refrigeranti.

Lo scambio di calore tra il mezzo di processo e il refrigerante viene potenziato dagli scambiatori di calore. Il refrigerante trasporta il calore dagli scambiatori di calore verso l'ambiente. Nei sistemi a circuito aperto il refrigerante è a contatto con l'ambiente, in quelli a circuito chiuso il mezzo refrigerante o il fluido di processo circola all'interno di tubi o serpentine e non è a diretto contatto con l'ambiente.

I sistemi a passaggio unico sono di solito impiegati negli impianti di grande capacità in luoghi in cui sono disponibili sufficienti quantità di acqua di raffreddamento e di acque superficiali riceventi. Se non è disponibile una fonte affidabile di approvvigionamento di acqua, si usano i sistemi a ricircolo (torri di raffreddamento).

Nelle torri a ricircolo aperte, l'acqua di raffreddamento viene raffreddata tramite il contatto con un flusso di aria. Le torri sono dotate di dispositivi per aumentare il contatto aria/acqua. Il flusso d'aria può essere creato mediante tiraggio meccanico con ventilatori, o tiraggio naturale. Le torri a tiraggio meccanico sono molto usate per piccole ed elevate capacità. Le torri a tiraggio naturale sono impiegate prevalentemente per capacità molto elevate (ad esempio l'industria di produzione di energia elettrica).

Nei sistemi a circuito chiuso i tubi o le serpentine in cui circola il refrigerante o il mezzo di processo vengono raffreddati, e a loro volta raffreddano la sostanza che contengono. Nei sistemi a umido un flusso d'aria raffredda per evaporazione i tubi o le serpentine che vengono spruzzati con acqua. Nei sistemi a secco per raffreddare tubi/serpentine si usa solo un flusso d'aria. In entrambi i tipi di sistemi le serpentine possono essere dotate di alette, che ampliano la superficie di raffreddamento e quindi l'effetto corrispondente. Nell'industria, i sistemi a umido a circuito chiuso sono molto impiegati per piccole capacità. Il principio del raffreddamento con aria a secco è applicato negli impianti di ridotte dimensioni nonché nelle grandi centrali elettriche quando non è disponibile un sufficiente quantitativo di acqua o questa risorsa è molto costosa.

I sistemi di raffreddamento ibridi, chiusi o aperti, sono speciali torri meccaniche che possono funzionare a umido o a secco per ridurre la formazione di pennacchio. Grazie alla possibilità di utilizzare il sistema (in particolare piccole unità di tipo a cella) a secco nei periodi caratterizzati da basse temperature ambiente dell'aria, si può ottenere una riduzione del consumo annuo di acqua e della formazione di pennacchio.

**Tabella 1: Esempio delle caratteristiche tecniche e termodinamiche dei vari sistemi di raffreddamento per applicazioni industriali (escluse le centrali elettriche)**

Sistema di raffreddamento	Mezzo refrigerante	Modo di raffreddamento	Scarti di temperatura minimi ( <i>minimum approaches</i> ) (K) <sup>4)</sup>	Temperatura minima finale raggiungibile del fluido di processo <sup>5)</sup> (°C)	Capacità del processo industriale (MW <sub>th</sub> )
Sistema a passaggio unico aperto - diretto	Acqua	Conduzione/Convezione	3 – 5	18 – 20	< 0,01 - > 2000
Sistema a passaggio unico aperto - indiretto	Acqua	Conduzione/Convezione	6 – 10	21 – 25	< 0,01 - > 1000
Sistema a ricircolo aperto - diretto	Acqua <sup>1)</sup> Aria <sup>2)</sup>	Evaporazione <sup>3)</sup>	6 – 10	27 – 31	< 0,1 - > 2000
Sistema a ricircolo aperto - indiretto	Acqua <sup>1)</sup> Aria <sup>2)</sup>	Evaporazione <sup>3)</sup>	9 – 15	30 – 36	< 0,1 - > 200
Sistema a umido a circuito chiuso	Acqua <sup>1)</sup> Aria <sup>2)</sup>	Evaporazione + convezione	7 – 14 <sup>7)</sup>	28 – 35	0,2 – 10
Sistema ad aria secca a circuito chiuso	Aria	Convezione	10 – 15	40 – 45	< 0,1 – 100
Sistema ibrido aperto	Acqua <sup>1)</sup> Aria <sup>2)</sup>	Evaporazione + convezione	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 <sup>6)</sup>
Sistema ibrido chiuso	Acqua <sup>1)</sup> Aria <sup>2)</sup>	Evaporazione + convezione	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 <sup>6)</sup>

Note:

- 1) L'acqua è il mezzo refrigerante secondario e viene in larga misura rimessa in circolazione. L'acqua che evapora trasferisce il calore nell'aria.
- 2) L'aria è il mezzo refrigerante in cui il calore viene trasferito nell'ambiente.
- 3) L'evaporazione è il principio di raffreddamento principale. Il calore viene trasferito anche tramite conduzione/convezione, ma in proporzione minore.
- 4) Scarti di temperatura relativi alle temperature di bulbo umido o secco. Bisogna aggiungere gli scarti di temperatura dello scambiatore di calore e della torre di raffreddamento.
- 5) Le temperature finali dipendono dal clima del sito. I dati sono validi per le condizioni climatiche medie europee (temperatura di bulbo secco/umido 30°/21°C e temperatura massima dell'acqua 15 °C).
- 6) Capacità di piccole unità – con una combinazione di varie unità o con sistemi di raffreddamento appositamente costruiti si possono raggiungere capacità maggiori.
- 7) Quando si tratta di un sistema indiretto o in presenza di convezione, in questo esempio lo scarto di temperatura aumenta di 3-5 K provocando un aumento della temperatura di processo.

La tabella indica le caratteristiche dei sistemi di raffreddamento applicati per una data situazione climatica. La temperatura di uscita del fluido di processo che esce dallo scambiatore di calore dopo il raffreddamento dipende da quella del refrigerante e dal tipo di sistema di raffreddamento. L'acqua ha una capacità termica specifica maggiore dell'aria ed è quindi migliore come refrigerante. La temperatura dell'aria e dell'acqua di raffreddamento dipende dalle temperature di bulbo secco e di bulbo umido locali. Maggiori sono le temperature di bulbo, più difficile risulta ridurre le temperature finali minime del processo.

La temperatura di uscita del processo è la somma della temperatura ambiente più bassa (refrigerante) e della differenza di temperatura minima necessaria tra refrigerante (che entra nel sistema di raffreddamento) e fluido di processo (che esce dal sistema di raffreddamento) tramite scambiatore di calore, definita anche scarto (termico). Dal punto di vista tecnico lo scarto può essere molto ridotto in fase di progettazione, ma i costi sono inversamente proporzionali alle dimensioni. Minore è lo scarto, minore può essere la temperatura di uscita del processo. Ogni scambiatore di calore ha un suo valore di scarto e, nel caso degli scambiatori di calore aggiuntivi in serie, tutti gli scarti vengono sommati alla temperatura del refrigerante (che entra nel sistema di raffreddamento) per calcolare la temperatura di uscita che è possibile ottenere nel processo. Gli scambiatori di calore aggiuntivi vengono impiegati nei sistemi di raffreddamento indiretti, in cui si applica un circuito di raffreddamento supplementare. Il circuito secondario e il circuito di raffreddamento primario sono collegati tramite uno scambiatore di calore. I sistemi di raffreddamento indiretti si applicano nei casi in cui è assolutamente necessario evitare perdite di sostanze di processo nell'ambiente.

Per i sistemi di raffreddamento di uso comune nel settore dell'energia elettrica gli scarti minimi e le capacità di raffreddamento variano in misura considerevole rispetto alle applicazioni diverse dalle centrali elettriche, a causa dei requisiti particolari del processo di condensazione del vapore. Nella tabella seguente sono riassunti i vari scarti e le relative capacità di produzione di energia elettrica.

**Tabella 2: Esempi di capacità e di caratteristiche termodinamiche di vari sistemi di raffreddamento per applicazioni nel settore dell'energia elettrica**

Sistema di raffreddamento	Scarti di temperatura ( <i>approaches</i> ) applicati (K)	Capacità di produzione di energia elettrica del processo (MW <sub>th</sub> )
Sistemi a circuito aperto	13-20 (differenza terminale 3-5)	< 2700
Torre di raffreddamento a umido aperta	7-15	< 2700
Torre di raffreddamento ibrida aperta	15-20	< 2500
Condensatore ad aria a secco	15-25	< 900

### 3. Aspetti ambientali dei sistemi di raffreddamento applicati

Gli aspetti ambientali dei sistemi di raffreddamento variano a seconda della configurazione di raffreddamento applicata, ma l'attenzione è concentrata prevalentemente sull'aumento dell'efficienza energetica complessiva e sulla riduzione delle emissioni nell'ambiente acquatico. Il consumo e i livelli di emissione sono specifici del sito e laddove è possibile quantificarli si osservano notevoli differenze. Nella filosofia di un approccio integrato basato sulle BAT, si deve tener conto degli effetti sui vari comparti ambientali quando si procede alla valutazione dei singoli aspetti ambientali e delle misure di riduzione associate.

- **Consumo di energia**

Il consumo specifico di energia, diretto o indiretto, è un importante aspetto ambientale che riguarda tutti i sistemi di raffreddamento. Il consumo specifico di energia indiretto è il consumo energetico del processo da sottoporre a raffreddamento. Il consumo energetico indiretto, espresso in kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub>/K, può aumentare a causa di una configurazione di raffreddamento con un rendimento inferiore a quello ottimale, che può provocare un aumento della temperatura del processo ( $\Delta K$ ).

Il consumo specifico di energia diretto di un sistema di raffreddamento è espresso in kW<sub>e</sub>/MW<sub>th</sub> e si riferisce alla quantità di energia consumata da tutte le apparecchiature elettriche (pompe, ventilatori) del sistema per ogni MW<sub>th</sub> che dissipa.

---

Per ridurre il consumo specifico di energia indiretto si possono adottare le seguenti misure:

- configurazione del sistema di raffreddamento con il minore consumo specifico indiretto di energia (in generale sistemi a circuito aperto),
- applicazione di un tipo di sistema con ridotti scarti di temperatura e
- riduzione della resistenza allo scambio di calore con una corretta manutenzione del sistema di raffreddamento.

Ad esempio, nel caso del settore dell'energia elettrica il passaggio da un sistema di raffreddamento a passaggio unico ad uno a ricircolo comporta un aumento del consumo energetico per le apparecchiature ausiliarie, e una riduzione dell'efficienza nel ciclo termico.

Per ridurre il consumo specifico diretto di energia, sono disponibili pompe e ventilatori con livelli di efficienza più elevati. La resistenza e le cadute di pressione del processo si possono ridurre in fase di progettazione del sistema di raffreddamento, nonché applicando eliminatori delle perdite per trascinamento a bassa resistenza e impiegando materiale di riempimento della torre. Una corretta pulizia meccanica o chimica delle superfici mantiene bassa la resistenza nel processo durante il funzionamento.

### • **Acqua**

L'acqua è importante per i sistemi di raffreddamento a umido come refrigerante predominante, ma anche come ambiente ricevente per gli scarichi dell'acqua di raffreddamento. L'aspirazione di rilevanti quantità d'acqua può provocare l'impatto e il trascinamento di pesci e di altri organismi acquatici. Anche lo scarico di grandi quantità di acqua calda può influire sull'ambiente idrico, ma l'impatto può essere controllato con un'adeguata ubicazione dei punti di aspirazione e di scarico e una valutazione dei flussi delle maree o degli estuari per assicurare un'adeguata mescolanza e una dispersione dell'acqua calda per avvezione.

Il consumo di acqua varia da  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$  per una torre ibrida aperta a  $86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$  per un sistema aperto a passaggio unico. La riduzione delle considerevoli quantità di acqua aspirate dai sistemi aperti a passaggio unico richiede il passaggio al raffreddamento a ricircolo, che nel contempo contribuisce a diminuire le notevoli quantità di acqua di raffreddamento calda scaricate e può anche ridurre le emissioni di sostanze chimiche e di rifiuti. Il consumo di acqua dei sistemi a ricircolo può essere ridotto aumentando il numero di cicli, migliorando la qualità di composizione dell'acqua oppure ottimizzando l'uso delle fonti di acque reflue disponibili all'interno o all'esterno del sito. Entrambe le opzioni richiedono un complesso programma di trattamento dell'acqua di raffreddamento. Il raffreddamento ibrido consente un raffreddamento a secco in alcuni periodi dell'anno, caratterizzati da una minore richiesta di raffreddamento o da basse temperature dell'aria e può quindi ridurre il consumo di acqua, in particolare per piccole unità di tipo a cella.

Per ridurre l'impatto e il trascinamento di organismi acquatici si interviene a livello di progettazione e di posizionamento dei punti di aspirazione e si ricorre a vari dispositivi (protezioni, barriere, luci, suoni). L'effetto dei dispositivi dipende dalla specie. I costi sono elevati e si preferisce applicare tali misure in sistemi di nuova costruzione. Diminuire la capacità di raffreddamento necessaria, aumentando se possibile il riutilizzo del calore può ridurre le emissioni di acqua di raffreddamento calda nelle acque superficiali riceventi.

### • **Emissioni di calore nelle acque superficiali**

Come indicato in precedenza, le emissioni di calore nelle acque superficiali possono avere un impatto ambientale sulle acque superficiali riceventi. I fattori che influiscono in questo caso sono, ad esempio, la capacità di raffreddamento disponibile delle acque superficiali riceventi, la temperatura effettiva e lo stato ecologico delle acque superficiali. Nei periodi estivi le emissioni

---

di calore possono provocare, per effetto del calore proveniente dall'acqua di raffreddamento scaricato nelle acque superficiali, un superamento dei valori di temperatura previsti dalla relativa norma di qualità ambientale. Per due ecosistemi (acque salmonicole e acque ciprinicole) i requisiti termici sono stati definiti nella direttiva 78/659/CEE. Per l'impatto ambientale delle emissioni di calore è importante non solo la temperatura effettiva dell'acqua, ma anche l'aumento di temperatura al confine della zona di mescolamento per effetto dello scarico di calore nell'acqua. La quantità e il livello del calore scaricato nelle acque superficiali rispetto alle dimensioni delle acque superficiali riceventi sono importanti per l'entità dell'impatto ambientale. Nei casi in cui il calore si scarica in bacini di acqua superficiale relativamente limitati e il flusso di acqua calda raggiunge la parte opposta del fiume o del canale si possono creare barriere alla migrazione dei salmonidi.

Oltre a questi effetti l'elevata temperatura dovuta alle emissioni di calore può provocare un aumento della respirazione e della produzione biologica (eutrofizzazione) da cui deriva una minore concentrazione di ossigeno nell'acqua.

Quando si progetta un sistema di raffreddamento si deve tener conto di questi aspetti e delle possibilità di ridurre il calore dissipato nelle acque superficiali.

- **Emissioni di sostanze nelle acque superficiali**

Si tratta delle emissioni nelle acque superficiali provenienti dai sistemi di raffreddamento causate da:

- additivi dell'acqua di raffreddamento applicati e relativi reagenti,
- sostanze presenti nell'atmosfera che entrano attraverso una torre di raffreddamento,
- prodotti della corrosione delle apparecchiature dei sistemi di raffreddamento e
- perdite di prodotti chimici di processo e dei relativi prodotti di reazione.

Un corretto funzionamento dei sistemi di raffreddamento può richiedere il trattamento dell'acqua di raffreddamento contro la corrosione delle apparecchiature, la scagliatura e la formazione di micro e macroincrostazioni. I trattamenti per i sistemi di raffreddamento aperti a passaggio unico e per quelli a ricircolo sono diversi. Per i secondi, i programmi di trattamento dell'acqua di raffreddamento possono essere estremamente complessi e la gamma di prodotti chimici può essere molto ampia. Ne consegue che anche i livelli di *blowdown* di questi sistemi variano in misura considerevole ed è difficile indicare livelli di emissione rappresentativi. Talvolta i fanghi vengono trattati prima di essere scaricati.

Le emissioni di biocidi ossidanti nei sistemi aperti a passaggio unico, misurate come ossidante libero al punto di uscita, variano in una misura compresa tra 0,1 [mg FO/l] e 0,5 [mg FO/l] a seconda del tipo e della frequenza di dosaggio.

**Tabella 3: Componenti chimici dei trattamenti dell'acqua di raffreddamento utilizzati nei sistemi di raffreddamento aperti e a ricircolo a umido**

Esempi di trattamento chimico*	Problemi di qualità dell'acqua					
	Corrosione		Scagliatura		(Bio-)incrostazioni	
	Sistemi a passaggio unico	Sistemi a ricircolo	Sistemi a passaggio unico	Sistemi a ricircolo	Sistemi a passaggio unico	Sistemi a ricircolo
Zinco		X				
Molibdati		X				
Silicati		X				
Fosfonati		X		X		
Polifosfonati		X		X		
Esteri poliglicolici				X		
Sostanze organiche naturali				X		
Polimeri	(X)		(X)	X		
Biocidi non ossidanti						X
Biocidi ossidanti					X	X

\* il cromato non è più di uso comune a causa del suo elevato impatto ambientale

Scegliere e applicare un sistema di raffreddamento costruito con materiale adatto all'ambiente nel quale dovrà funzionare può ridurre le perdite e la corrosione. L'ambiente è definito da quanto segue:

- condizioni di processo, quali temperatura, pressione, velocità di flusso,
- mezzi raffreddati,
- caratteristiche chimiche dell'acqua di raffreddamento.

I materiali comunemente usati per gli scambiatori di calore, le condotte, le pompe e i rivestimenti sono l'acciaio al carbonio, il nickel-rame e diverse qualità di acciaio inossidabile, anche se si registra un continuo aumento nell'uso del titanio (Ti). Vengono inoltre applicati rivestimenti e vernici per proteggere la superficie.

#### • Uso di biocidi

I sistemi aperti a passaggio unico sono prevalentemente trattati con biocidi ossidanti contro le macroincrostazioni. La quantità applicata può essere espressa nell'additivo ossidante usato annualmente, espresso come cloro equivalente per  $MW_{th}$ , in connessione con il livello di incrostazione vicino o all'interno dello scambiatore di calore. L'uso di alogenuri come additivi ossidanti nei sistemi aperti a passaggio unico comporta notevoli effetti ambientali, soprattutto a causa della formazione di sottoprodotti alogenati.

Nei sistemi a ricircolo aperti, l'acqua viene sottoposta a un pretrattamento contro la scagliatura, la corrosione e la formazione di microincrostazioni. Dati i volumi relativamente inferiori dei sistemi a ricircolo a umido, vengono applicati con ottimi risultati trattamenti alternativi, quali ozono e raggi ultravioletti, che tuttavia richiedono specifiche condizioni di processo e possono avere costi piuttosto elevati.

Le misure operative per ridurre gli effetti dannosi dello scarico dell'acqua di raffreddamento consistono nella chiusura dello spurgo durante il trattamento-urto e il trattamento dei fanghi prima dello scarico nelle acque superficiali riceventi. Per il trattamento dei fanghi in un impianto di trattamento delle acque di scarico si deve controllare l'attività residua dei biocidi in quanto può influire sulla popolazione microbica.



---

Per ridurre le emissioni nello scarico e l'impatto sull'ambiente idrico, i biocidi vengono selezionati in modo da conciliare i requisiti dei sistemi di raffreddamento con la sensibilità dell'ambiente idrico ricevente.

- **Emissioni nell'atmosfera**

L'aria scaricata dalle torri di raffreddamento a circuito a secco non è considerata di solito l'aspetto più importante del raffreddamento. In caso di perdite di prodotto si può verificare una contaminazione che è possibile prevenire con una corretta manutenzione.

Le goccioline presenti nello scarico delle torri di raffreddamento a umido possono essere contaminate dai prodotti chimici di trattamento dell'acqua, da microbi o dai prodotti della corrosione. L'applicazione di eliminatori delle perdite per trascinamento e di un programma di trattamento dell'acqua ottimizzato riduce i potenziali rischi.

La formazione di pennacchio è presa in considerazione laddove si verifica l'effetto di offuscamento dell'orizzonte o esiste il rischio che il flusso di scarico arrivi al livello del suolo.

- **Rumore**

L'emissione di rumore è una questione locale per le torri di raffreddamento a tiraggio naturale di grandi dimensioni e per tutti i sistemi di raffreddamento meccanizzati. I livelli di potenza sonora non attenuata variano da 70 [dB(A)] per le torri a tiraggio naturale a circa 120 [dB(A)] per le torri meccaniche. La variazione è dovuta alla differenza di apparecchiature e al luogo di misurazione che può essere il punto di aspirazione o il punto di uscita dell'aria. Le maggiori fonti di rumore sono i ventilatori, le pompe e l'acqua in caduta.

- **Aspetti di rischio**

Gli aspetti di rischio dei sistemi di raffreddamento riguardano le perdite dagli scambiatori di calore, l'immagazzinamento dei prodotti chimici e la contaminazione microbiologica (quale la malattia dei legionari) dei sistemi di raffreddamento a umido.

Per evitare le perdite e la contaminazione microbiologica si applicano la manutenzione preventiva e il monitoraggio. Nei casi in cui le perdite potrebbero comportare lo scarico di considerevoli quantità di sostanze nocive per l'ambiente idrico, vengono presi in esame sistemi di raffreddamento indiretti o speciali misure preventive.

Per prevenire lo sviluppo della *Legionella pneumophila* (*Lp*) si consiglia di adottare un adeguato programma di trattamento dell'acqua. Non è stato possibile stabilire limiti massimi di concentrazione per la *Lp*, misurata in unità formanti colonie [CFU per litro], al di sotto dei quali si può presumere che non esista alcun rischio. Si tratta di un rischio di cui tener conto in modo particolare durante le operazioni di manutenzione.

- **Residui del funzionamento dei sistemi di raffreddamento**

I dati raccolti in merito a residui o rifiuti sono scarsi. I fanghi provenienti dal trattamento preliminare dell'acqua di raffreddamento o dal bacino delle torri di raffreddamento devono essere considerati rifiuti. Essi vengono trattati e smaltiti in modi diversi a seconda delle proprietà meccaniche e della composizione chimica. I livelli di concentrazione variano a seconda del programma di trattamento dell'acqua di raffreddamento.

Le emissioni nell'ambiente si riducono ulteriormente applicando metodi meno dannosi di conservazione delle apparecchiature e scegliendo materiale che può essere riciclato dopo lo smantellamento o la sostituzione delle apparecchiature dei sistemi di raffreddamento.

---

#### **4. Principali conclusioni in materia di BAT**

L'approccio basato sulle BAT o sulle BAT primarie per i sistemi nuovi o esistenti viene presentato nel capitolo 4. I risultati si possono riassumere come segue.

Si riconosce che le BAT finali sono specifiche per ogni sito, ma per alcune questioni è possibile individuare BAT generali. Prima di valutare la dissipazione nell'ambiente del calore proveniente da un processo industriale, in qualsiasi situazione si devono esaminare ed impiegare le opzioni disponibili e applicabili per il riutilizzo del calore al fine di ridurre la quantità e il livello del calore non recuperabile.

Per tutti gli impianti la BAT è una tecnologia, un metodo o una procedura e il risultato di un approccio integrato per ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di raffreddamento industriali, mantenendo un equilibrio tra effetti diretti e indiretti. Si devono prendere in considerazione misure di riduzione che mantengano al minimo l'efficienza del sistema di raffreddamento o che comportino una perdita di efficienza, aspetto trascurabile in confronto agli effetti positivi sull'impatto ambientale.

Per diversi aspetti ambientali, sono state individuate tecniche che si possono considerare BAT in base all'approccio adottato. Non è stato possibile individuare in modo preciso BAT per la riduzione dei rifiuti o tecniche di gestione dei rifiuti in modo da evitare problemi ambientali quali la contaminazione del terreno e dell'acqua o, in caso di incenerimento, dell'atmosfera.

- **Requisiti di processo e del sito**

La scelta tra raffreddamento a umido, a secco o a umido/secco per soddisfare i requisiti di processo e del sito dovrebbe essere finalizzata alla massima efficienza energetica complessiva. Per raggiungere un livello elevato di efficienza energetica complessiva quando si gestiscono grandi quantità di calore di livello basso (10-25 °C) la BAT consiste nel procedere al raffreddamento tramite un sistema aperto a passaggio unico. In caso di sistemi di nuova costruzione questo può giustificare la scelta di un sito (costiero) con una sicura disponibilità di considerevoli quantità di acqua di raffreddamento e con acque superficiali aventi capacità sufficiente per ricevere grandi quantità di acqua di raffreddamento di scarico.

Se si sottopongono a raffreddamento sostanze pericolose che (rilasciate attraverso il sistema di raffreddamento) comportano un rischio elevato per l'ambiente, la BAT consiste nel ricorrere a sistemi di raffreddamento indiretti che utilizzano un circuito di raffreddamento secondario.

In linea di principio, per il raffreddamento si deve ridurre al minimo l'uso di acque sotterranee, ad esempio nei casi in cui non si può escludere un esaurimento delle risorse idriche sotterranee.

- **Riduzione del consumo diretto di energia**

È possibile diminuire il consumo diretto di energia di un sistema di raffreddamento riducendo la resistenza all'acqua e/o all'aria nel sistema, grazie ad apparecchiature a basso consumo di energia. Nei casi in cui il processo da sottoporre a raffreddamento richiede un funzionamento variabile, l'applicazione della modulazione del flusso di aria e di acqua ha dato ottimi risultati, e può quindi essere considerata una BAT.

---

- **Riduzione del consumo di acqua e delle emissioni di calore nell'acqua**

La riduzione del consumo di acqua e delle emissioni di calore nell'acqua sono strettamente connesse e richiedono l'applicazione delle stesse opzioni tecnologiche.

La quantità di acqua necessaria per il raffreddamento dipende dalla quantità di calore da dissipare. Ad un maggiore riutilizzo dell'acqua di raffreddamento corrispondono minori quantità di acqua di raffreddamento necessarie.

Il ricircolo dell'acqua di raffreddamento, usando un sistema a umido a ricircolo aperto o chiuso, è la BAT quando la disponibilità di acqua è bassa o non sicura.

Nei sistemi a ricircolo la BAT può consistere in un aumento del numero di cicli, ma le esigenze di trattamento dell'acqua di raffreddamento possono costituire un fattore limitante.

Si può definire BAT l'impiego di eliminatori delle perdite per trascinamento al fine di ridurre tali perdite a un livello inferiore allo 0,01% del flusso totale di ricircolo.

- **Riduzione del trascinamento**

Per prevenire il trascinamento o ridurre eventualmente i danni sono state sviluppate molte tecniche diverse. I risultati sono stati eterogenei e legati al sito. Non è stata identificata una BAT, ma l'accento viene posto su un'analisi del biotopo, dato che la riuscita o il fallimento dipendono in larga misura dagli aspetti comportamentali delle specie, oltre che da una corretta progettazione e dal posizionamento del punto di aspirazione.

- **Riduzione delle emissioni di sostanze chimiche nell'acqua**

In linea con l'approccio basato sulle BAT, l'applicazione delle potenziali tecniche per ridurre le emissioni nell'ambiente idrico deve essere valutata nel seguente ordine:

1. scelta della configurazione di raffreddamento con riduzione del livello di emissioni nelle acque superficiali,
2. uso di materiale più resistente alla corrosione per le apparecchiature di raffreddamento,
3. prevenzione e riduzione delle perdite di sostanze di processo nel circuito di raffreddamento,
4. applicazione di metodi alternativi (non chimici), di trattamento dell'acqua di raffreddamento
5. scelta di additivi dell'acqua di raffreddamento per ridurre l'impatto ambientale e
6. impiego ottimizzato (monitoraggio e dosaggio) degli additivi dell'acqua di raffreddamento.

Si può definire BAT ridurre la necessità di un condizionamento dell'acqua di raffreddamento diminuendo la presenza di incrostazioni e corrosione grazie ad una progettazione adeguata. Nei sistemi a passaggio unico, una buona progettazione è evitare zone stagnanti e turbolenza e mantenere una velocità minima dell'acqua (0,8 [m/s] per gli scambiatori di calore, 1,5 [m/s] per i condensatori).

BAT è scegliere per i sistemi a passaggio unico inseriti in ambienti altamente corrosivi un materiale che contenga Ti o acciaio inossidabile di elevata qualità o altri materiali con prestazioni simili, laddove un ambiente riducente potrebbe limitare l'uso di Ti.

Per i sistemi a ricircolo, oltre alle misure di progettazione, BAT è individuare i cicli di concentrazione applicati e la corrosività della sostanza utilizzata nel processo per poter scegliere un materiale con adeguata resistenza alla corrosione.

Per le torri di raffreddamento BAT è impiegare adeguati materiali di riempimento tenendo conto della qualità dell'acqua (contenuto di solidi), delle incrostazioni previste, delle temperature e della resistenza all'erosione, nonché scegliere un materiale da costruzione che non richieda conservazione chimica.

---

Il concetto VCI applicato dall'industria chimica mira a ridurre al minimo i rischi per l'ambiente idrico in caso di perdite di sostanze di processo. Il concetto stabilisce un nesso tra il livello di impatto ambientale di una sostanza di processo, la configurazione di raffreddamento necessaria e i requisiti di controllo. Dati i maggiori rischi potenziali per l'ambiente in caso di perdite, grazie a questo concetto si potenziano gli interventi contro la corrosione, si migliora la progettazione del sistema di raffreddamento indiretto e si intensifica il controllo dell'acqua di raffreddamento.

- **Riduzione delle emissioni attraverso l'ottimizzazione del trattamento dell'acqua di raffreddamento**

L'ottimizzazione dell'impiego di biocidi ossidanti nei sistemi a passaggio unico si basa su tempi e frequenza del dosaggio di biocidi. Si considera BAT ridurre la quantità di biocidi immessa grazie ad un dosaggio mirato unito al monitoraggio del comportamento delle specie che provocano macroincrostazioni (ad esempio il movimento delle valve dei molluschi) e sfruttando il tempo di permanenza dell'acqua di raffreddamento nel sistema. Per i sistemi nel cui scarico si mescolano vari flussi di raffreddamento, una BAT è la clorazione intermittente che può anche ridurre ulteriormente le concentrazioni di ossidante libero nello scarico. In genere, un trattamento di tipo intermittente dei sistemi a passaggio unico è sufficiente per prevenire la formazione di incrostazioni. A seconda delle specie e della temperatura dell'acqua (superiore ai 10-12° C) a bassi livelli può essere necessario un trattamento continuo.

Per l'acqua di mare, i livelli BAT di ossidante libero residuo (*Free Residual Oxydant - FRO*) nello scarico, associati a queste pratiche variano a seconda del regime di dosaggio applicato (continuo e intermittente), del livello di concentrazione del dosaggio e della configurazione del sistema di raffreddamento e sono compresi tra  $\leq 0,1$  [mg/l] e 0,5 [mg/l], con un valore medio di 0,2 [mg/l] su un intervallo di tempo di 24 ore.

Nell'introduzione di un approccio BAT per il trattamento dell'acqua, soprattutto per i sistemi a ricircolo che impiegano biocidi non ossidanti, è importante decidere con piena cognizione di causa quale regime di trattamento dell'acqua applicare e le modalità di controllo e monitoraggio. Scegliere un regime di trattamento adeguato è un'operazione complessa, che deve prendere in considerazione diversi fattori locali e specifici del sito e correlarli alle caratteristiche degli stessi additivi di trattamento nonché alle quantità e combinazioni applicate.

Per facilitare il processo decisionale BAT sugli additivi dell'acqua di raffreddamento, il BREF fornisce elementi di valutazione alle autorità locali competenti per il rilascio di un'autorizzazione nel quadro della direttiva IPPC.

La direttiva 98/8/CE relativa all'immissione sul mercato europeo di biocidi considera i biocidi usati nei sistemi di raffreddamento una categoria specifica. Lo scambio di informazioni dimostra che in alcuni Stati membri esistono specifici regimi di valutazione per l'applicazione degli additivi dell'acqua di raffreddamento.

Il dibattito nell'ambito dello scambio di informazioni sui sistemi di raffreddamento industriali si è concluso con la proposta di due concetti per gli additivi dell'acqua di raffreddamento, che possono essere usati come strumento complementare dalle autorità competenti per il rilascio di autorizzazioni:

1. Uno strumento di valutazione analitica basato sui concetti esistenti, che consente di procedere ad un semplice confronto relativo degli additivi dell'acqua di raffreddamento in termini di potenziale impatto sull'ambiente idrico (Valutazione comparativa, allegato VIII.1).
2. Una valutazione specifica per ogni sito dell'impatto previsto dei biocidi scaricati nell'acqua ricevente, effettuata tenendo conto della direttiva sui biocidi e applicando la metodologia per stabilire le norme di qualità ambientale della futura direttiva quadro sull'acqua come elementi chiave (Valutazione locale relativa ai biocidi, allegato VIII.2).

---

La valutazione comparativa può essere considerata un metodo per confrontare l'impatto ambientale di diversi additivi dell'acqua di raffreddamento alternativi mentre la valutazione locale relativa ai biocidi fornisce un parametro di riferimento per la determinazione di un approccio compatibile con il concetto di BAT per i biocidi in particolare (PEC/PNEC < 1). L'uso di metodologie di valutazione locale come strumento per controllare le emissioni industriali è già una prassi comune.

- **Riduzione delle emissioni nell'aria**

La riduzione dell'impatto delle emissioni nell'aria provenienti dalle torri di raffreddamento è legata all'ottimizzazione del condizionamento dell'acqua di raffreddamento per ridurre le concentrazioni nelle goccioline. Laddove il trascinamento è il principale meccanismo di trasporto, l'applicazione di eliminatori delle perdite per trascinamento, che comporta una perdita per trascinamento del flusso di ricircolo inferiore allo 0,01%, è considerata una BAT.

- **Riduzione del rumore**

Misure primarie sono l'applicazione di apparecchiature a basso livello di rumorosità. I livelli di riduzione associati arrivano fino a 5 [dB(A)].

Le misure secondarie all'ingresso e all'uscita delle torri di raffreddamento meccaniche hanno livelli di riduzione associati minimi pari o superiori a 15 [dB(A)]. Si tenga presente che la riduzione del rumore, in particolare tramite misure secondarie, può causare una caduta di pressione che per essere compensata richiede un quantitativo di energia supplementare.

- **Riduzione delle perdite e del rischio microbiologico**

Le BAT sono: prevenire le perdite in sede di progettazione; operare entro i limiti di progettazione e sottoporre a regolare ispezione il sistema di raffreddamento.

Per l'industria chimica in particolare, si ritiene che applicare il concetto di sicurezza VCI già citato per ridurre le emissioni nell'acqua costituisca una BAT.

In un sistema di raffreddamento non è possibile prevenire completamente la proliferazione di batteri della *Legionella pneumophila*. Le misure seguenti sono considerate BAT:

- evitare zone stagnanti e mantenere una velocità dell'acqua sufficiente,
- ottimizzare il trattamento dell'acqua di raffreddamento per ridurre le incrostazioni, lo sviluppo e la proliferazione di alghe e amebe,
- praticare una pulizia regolare del bacino della torre di raffreddamento e
- ridurre la vulnerabilità respiratoria degli operatori fornendo protezioni per la bocca e il naso quando si entra in un'unità operativa o quando si pulisce la torre con un sistema ad alta pressione.

## **5. Distinzione tra sistemi nuovi e sistemi esistenti**

Tutte le principali conclusioni BAT sono applicabili ai nuovi sistemi. Qualora l'applicazione comporti modifiche tecnologiche, essa può essere limitata ai sistemi di raffreddamento esistenti. Per le piccole torri di raffreddamento prodotte in serie, si ritiene che una modifica tecnologica sia tecnicamente ed economicamente fattibile. Le modifiche tecnologiche di sistemi di grandi dimensioni sono generalmente molto costose e richiedono una complessa valutazione tecnica ed economica che contempla un gran numero di fattori. In alcuni casi questi sistemi di grandi dimensioni possono venire adeguati grazie ad interventi relativamente limitati sostituendo parte dell'apparecchiatura. Per modifiche tecnologiche di più ampia portata può essere necessario procedere ad un'attenta considerazione e ad un'approfondita valutazione degli effetti ambientali e dei costi.

---

In generale, le BAT per i sistemi nuovi o esistenti sono simili, quando si vuole ridurre l'impatto ambientale migliorando il funzionamento del sistema:

- ottimizzazione del trattamento dell'acqua di raffreddamento attraverso un dosaggio controllato e una selezione degli additivi dell'acqua di raffreddamento volti a ridurre l'impatto sull'ambiente,
- regolare manutenzione delle apparecchiature e
- monitoraggio dei parametri di esercizio, come tasso di corrosione della superficie dello scambiatore di calore, caratteristiche chimiche dell'acqua di raffreddamento e grado di incrostazioni e di perdite.

Alcuni esempi di tecniche considerate BAT per i sistemi di raffreddamento esistenti sono:

- applicazione di un materiale di riempimento adeguato per contrastare la formazione di incrostazioni,
- sostituzione delle apparecchiature rotative con dispositivi a bassa rumorosità,
- prevenzione delle perdite controllando i tubi dello scambiatore di calore,
- biofiltrazione del flusso secondario,
- miglioramento della qualità dell'acqua d'integrazione, e
- dosaggio mirato nei sistemi senza ricircolo.

## **6. Conclusioni e raccomandazioni per i lavori futuri**

Il gruppo tecnico di lavoro (TWG) ha valutato molto positivamente il presente BREF. La valutazione e l'individuazione delle BAT per il processo di raffreddamento industriale sono generalmente considerate operazioni complesse e specifiche per ogni sito o processo e richiedono l'esame di numerosi aspetti tecnici ed economici. Il concetto di BAT generali per i sistemi di raffreddamento basato sulla prefazione del BREF e l'introduzione sulle migliori tecniche disponibili contenuta nel capitolo 4 suscita però un grande consenso.

Il processo dello scambio di informazioni ha evidenziato diverse questioni da approfondire in sede di revisione del presente BREF. La valutazione locale del trattamento dell'acqua di raffreddamento richiede un'ulteriore indagine sul modo in cui tener conto di tutti i fattori e le caratteristiche chimiche connessi al sito, ma al contempo sono necessari orientamenti precisi e una procedura fattibile. Altri campi da approfondire sono le tecniche alternative di trattamento dell'acqua di raffreddamento, la riduzione al minimo del rischio microbiologico e l'importanza delle emissioni nell'aria.