



M. Concetta Tomei, Giorgia Cento
Istituto di Ricerca sulle Acque - CNR - Roma
tomei@irsa.rm.cnr.it



DIRETTIVA IPPC: “BEST AVAILABLE TECHNIQUES” PER L’INDUSTRIA CHIMICA

Parte seconda: analisi dei sistemi di trattamento delle acque reflue

Il concetto di BAT, Best Available Technique, è oggetto della Direttiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), la cui applicazione ha come obiettivo il miglioramento del sistema industriale dal punto di vista delle prestazioni ambientali. Nel presente lavoro viene proposta un’analisi critica delle tecniche, comunemente impiegate per l’abbattimento del carico inquinante dalle acque reflue, descritte nel documento Bref (BAT REFERENCE document) relativo ai sistemi di trattamento e di gestione delle acque di scarico del settore chimico industriale.

La Direttiva della comunità Europea 96/61/EC, nota anche come Direttiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), stabilisce i principi generali che definiscono gli obblighi dei responsabili delle installazioni industriali, sia nuove sia esistenti, per garantire un’adeguata salvaguardia ambientale. Tra questi il primo è di adottare tutte le misure preventive che permettono di assicurare un elevato livello di protezione dell’ambiente nel suo complesso mediante l’impiego delle “migliori tecniche disponibili” (*Best Available techniques, BATs*). Per individuare le migliori tecniche disponibili la Commissione Europea ha stabilito

che, per ogni settore industriale, sia istituito un gruppo di lavoro tecnico europeo che ha il compito di redigere i documenti di riferimento per le BATs, denominati Bref (*Bat REFERENCE document*).

La definizione delle BAT coinvolge tutti gli aspetti del funzionamento di un impianto che influenzano l’ambiente. In quest’ottica l’inquinamento comprende le sostanze tradizionali, il calore, il rumore, le vibrazioni ed il consumo di materie prime.

L’Autorità competente non dovrà imporre l’uso di una specifica tecnica di produzione o di abbattimento, ma dovrà fissare i valori limite di emissione per ogni singolo sito industriale, basandosi non solo sulle

prestazioni ottenibili con l’impiego delle BATs, ma considerando anche le specifiche condizioni locali.

Il presente lavoro si prefigge lo scopo di descrivere ed analizzare quelle tecniche, proposte quali BATs, oggi commercialmente disponibili per il trattamento dei reflui industriali del settore chimico, che siano di valenza generale prescindendo da specifiche condizioni locali o da particolari processi produttivi (1).

Attualmente le industrie sfruttano ancora essenzialmente le tecniche a valle dello stabilimento produttivo (*end of pipe techniques*) per il trattamento delle acque di scarico, mentre le “procedure integrate”,

che rappresentano fundamentalmente delle tecniche gestionali finalizzate alla prevenzione e riduzione delle emissioni, sono utilizzate solo quando la struttura industriale ne consenta un'applicazione economicamente vantaggiosa.

Per una più ampia ed esauriente definizione delle BAT si rimanda al lavoro precedentemente elaborato riguardante l'analisi del documento Bref relativo ai sistemi di trattamento e gestione delle acque di scarico dell'industria chimica (2).

Tecniche adottate per il trattamento delle acque di scarico

Nella classificazione delle tecniche di trattamento comunemente impiegate per la depurazione delle acque di scarico industriali si può fare riferimento alla successione logica con cui tali trattamenti sono applicati (si definiscono allora pretrattamenti, trattamenti primari, secondari e terziari), oppure si può focalizzare l'attenzione sulla natura chimica dell'inquinante da rimuovere (si parla allora di trattamenti meccanici, chimico-fisici e biologici). Nella trattazione che segue si fa riferimento a quest'ultima metodologia di classificazione. In particolare si esaminano le tecniche comunemente utilizzate per la rimozione ed il recupero dei principali inquinanti che caratterizzano le acque di scarico industriali.

La Figura a lato mostra, attraverso un diagramma di flusso, come scegliere un'appropriata strategia operativa in relazione alle peculiari caratteristiche quali-quantitative del refluo da trattare.

Acque piovane

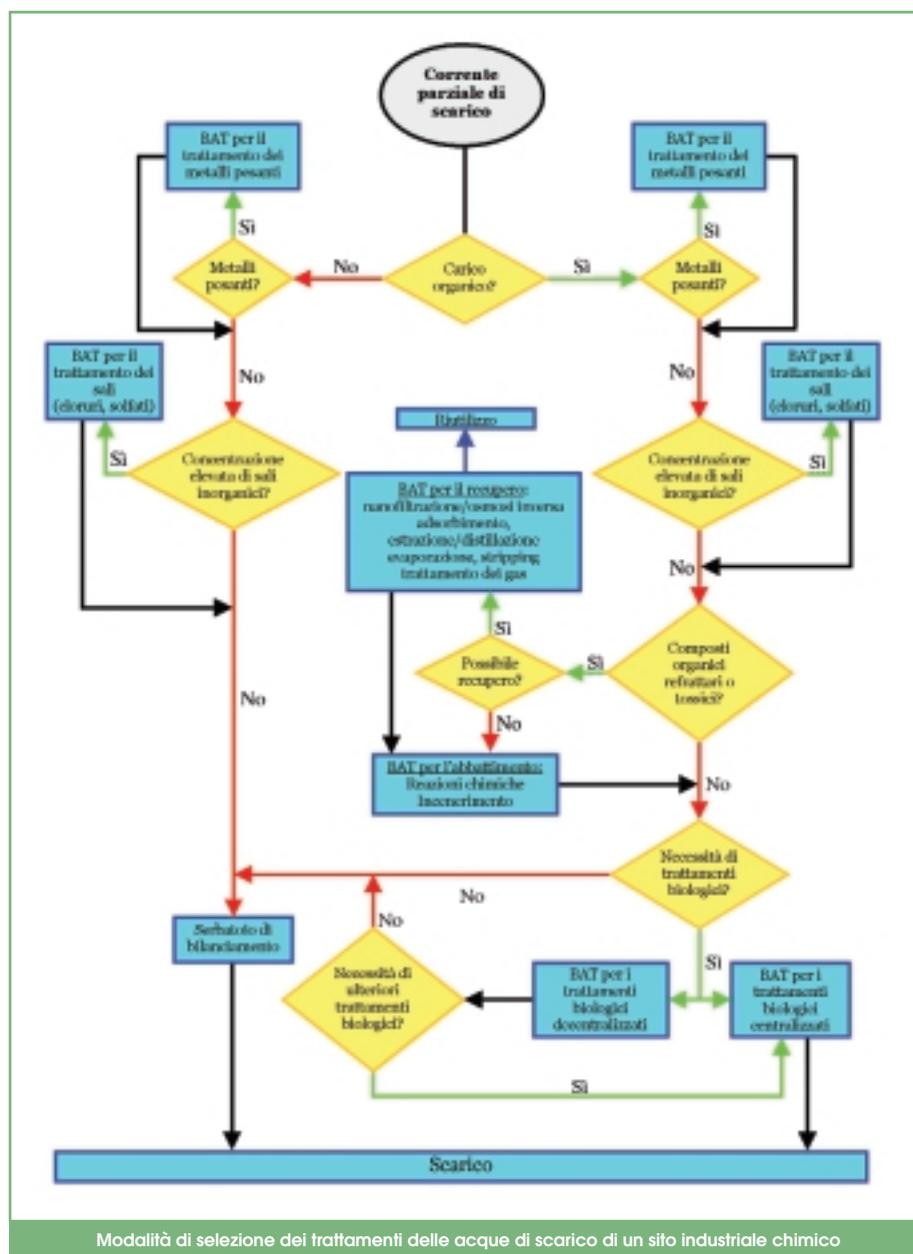
L'acqua piovana non contaminata può essere scaricata direttamente nel corpo idrico ricevente, by-passando il sistema fognario, mentre le acque piovane provenienti dalle aree contaminate devono essere sottoposte ad adeguati trattamenti prima di essere scaricate nel corpo idrico ricevente, o utilizzate nel ciclo produttivo

come acqua di processo, riducendo così il consumo di acqua di rete.

I trattamenti comunemente impiegati prevedono essenzialmente la rimozione di sabbia e solidi sospesi (dissabbiatori e filtri a sabbia) e la chiarificazione (sedimentatori o semplici serbatoi di ritenzione). Il trattamento serve sia ad abbattere eventuali sostanze inquinanti, sia a proteggere le apparecchiature poste a valle dal pericolo dell'abrasione.

Inquinanti principali

Idrocarburi ed oli liberi - La rimozione di oli ed idrocarburi è necessaria quando si hanno aggregati di dimensioni rilevanti oppure se la loro presenza, pur a livelli non eccessivi, è incompatibile con altre fasi del ciclo produttivo. La rimozione viene effettuata anche con lo scopo di massimizzare il recupero adottando un'appropriata com-



binazione di procedure operative (cicloni, microfiltri, separatori API, flottazione con aria o trattamenti biologici specifici) in grado di separare efficacemente il sistema olio/acqua.

Emulsioni - L'applicazione di una particolare tecnica per la rimozione delle emulsioni dipende dalle caratteristiche di stabilità od instabilità dell'emulsione stessa. Se, infatti, l'emulsione è instabile, come nel caso del sistema acqua/idrocarburi descritto nella precedente sezione, è possibile effettuarne la disgregazione con metodi meccanici o anche mediante aggiunta di additivi chimici (sali di metalli polivalenti, acidi inorganici, polimeri organici ecc.).

Se l'emulsione è stabile non è possibile disgregarla, ma è necessario rimuoverla all'origine. A tale scopo si possono adottare trattamenti quali l'ossidazione con aria, l'evaporazione, l'incenerimento (quando il processo è autotermico) o la degradazione biologica. In tal modo è possibile prevenire eventuali malfunzionamenti delle apparecchiature poste a valle.

Solidi sospesi totali - I trattamenti di rimozione dei solidi sospesi totali dai reflui liquidi sono previsti quando la loro presenza può

creare danni o malfunzionamenti nelle apparecchiature a valle (quali abrasioni ed ostruzioni di pompe, tubature ed apparecchiature di trattamento).

La successione delle singole fasi è la seguente:

- 1° step: fase di sedimentazione o di flottazione con aria per rimuovere la maggior parte dei solidi sospesi totali. In tal modo si proteggono i filtri da fenomeni di ostruzione o se ne evitano frequenti lavaggi. Quando si è in presenza di solidi finemente dispersi, per ottenere fiocchi sufficientemente grandi da consentirne la sedimentazione, è consigliabile utilizzare agenti flocculanti o coagulanti. Queste due tecniche normalmente sono sufficienti a prevenire l'abrasione o l'ostruzione di pompe e tubature;

- 2° step: filtrazione meccanica, nel caso in cui il contenuto solido non sia sufficientemente basso da evitare l'intasamento delle apparecchiature poste a valle quali filtri, colonne di assorbimento, filtri a membrana, camere di ossidazione a raggi UV ecc.;

- 3° step: microfiltrazione (MF) o ultrafiltrazione (UF) se è necessario avere una corrente totalmente priva di solidi o di altre particelle che non possono essere rimosse con altre tecniche.

Tutte le volte che è fattibile ed economica-

mente conveniente riciclare i solidi è bene utilizzare quei trattamenti che ne consentono il recupero.

Al termine del processo di rimozione dei solidi sospesi totali deve essere previsto un appropriato trattamento dei fanghi prodotti.

Sali e/o acidi inorganici (particolati ionici) -

La presenza di sali o acidi inorganici in uno scarico acquoso può influenzare profondamente sia la biosfera del corpo idrico ricevente (ad esempio nel caso di piccoli corsi d'acqua), sia il funzionamento del sistema di raccolta (ad esempio, provocando fenomeni di corrosione di tubature, valvole e pompe, o di malfunzionamento dei trattamenti biologici a valle).

La migliore tecnica disponibile consiste nell'adottare, ogni volta che sia possibile e conveniente, quei trattamenti che permettono di recuperare e riutilizzare i sali e gli acidi inorganici presenti nella corrente effluente. Una strategia tipica è quella di sottoporre la corrente da trattare ad un processo di evaporazione o di osmosi inversa per assicurare una rimozione completa dei sali inorganici e consentirne anche il totale recupero. Se non sono richieste efficienze depurative così spinte è possibile adottare il processo di scambio ionico.

Data la loro rilevanza nell'industria chimica, considerazioni particolari sono riportate per i metalli pesanti e i sali di ammonio che vengono trattati con maggiore dettaglio nel seguito.

Metalli pesanti - I metalli pesanti non possono essere distrutti: il loro recupero (e l'eventuale riutilizzo) rappresenta quindi l'unico metodo che permette di evitare il loro rilascio nell'ambiente. Ogni altra procedura ne causa il trasferimento in un ambiente diverso: in acqua, in aria o nel suolo.

La migliore tecnologia consiste nel separare il più possibile le correnti contenenti i metalli pesanti e nel trattarle prima che siano miscelate con altri effluenti. È evidente che



Tabella 1 - Efficienza di rimozione delle tecniche di separazione meccanica

Efficienza/Trattamento	TSS	BOD/COD	Sali inorganici	Metalli pesanti	Olio
Sedimentazione	60-90% <10 mg/L	X		X ⁽¹⁾	
Flottazione con aria	85-98% 10-20 mg/L	X	Solfuri metallici: 95%	X	2-10 mg/L
Filtrazione	50-99% <10 mg/L	X		X	<5 mg/L
Dissabbiatura	80-83%	X			
MF/UF	~100% ⁽²⁾	X			
Separazione olio/idrocarburi⁽³⁾	Solidi: 90-95%	BOD ₅ : 2-20 mg/L COD: 30-125 mg/L			90-95% 6-90 mg/L ⁽⁴⁾

La X indica che il trattamento è applicabile al composto, ma che non sono disponibili i valori di emissione ottenibili;

1) la sedimentazione è preceduta da un processo di precipitazione e seguita da uno di filtrazione

2) per solidi finemente dispersi e con basse concentrazioni

3) normalmente il trattamento è seguito da flottazione con aggiunta di coagulanti/flocculanti

4) con separatori API.

è preferibile adottare quei trattamenti che consentono un recupero di tali elementi chimici o che facilitino i successivi processi di rimozione.

Le tecniche comunemente impiegate sono:

- precipitazione/sedimentazione o flottazione/filtrazione la cui efficienza dipende dalla matrice organica od inorganica che contiene la miscela o la singola specie metallica che si vuole separare;
- cristallizzazione (tale tecnica è impiegata nel recupero dello zinco e dell'alluminio nella produzione degli elastomeri);
- scambio ionico;
- nanofiltrazione/osmosi inversa;
- nel caso particolare dei solfati si può procedere con la rimozione biologica mediante trattamenti anaerobici (che consentono la precipitazione dei solfuri dei metalli pesanti).

Sali di ammonio - I sali di ammonio presenti negli scarichi industriali possono essere

rimossi mediante trattamenti biologici e chimico-fisici (stripping, incenerimento, cristallizzazione ed evaporazione) in relazione alle caratteristiche quali-quantitative del carico inquinante.

Il processo biologico di rimozione dell'azoto ammoniacale prevede le due fasi di nitrificazione/denitrificazione e, rispetto alle alternative di tipo chimico fisico, presenta il vantaggio di avere ridotti costi di investimento ed una maggiore semplicità realizzativa. Di contro però, date le caratteristiche della biomassa nitrificante particolarmente sensibile alle condizioni operative, il processo biologico presenta maggiore instabilità in termini di prestazioni ottenibili.

Elevate efficienze di rimozione si ottengono anche adottando processi aerobici con bioreattori a membrana che consentono una migliore separazione degli effluenti dalla biomassa, aspetto questo di particolare rilevanza nel caso della biomassa nitrificante che presenta ridotte caratteristiche di sedimentabilità.

Una valida alternativa praticabile nel caso di particolari sali di ammonio (nitrati, solfati e fosfati di ammonio) è costituita dai processi di cristallizzazione od evaporazione (a film cadente) che consentono di ottenere prodotti commerciabili come fertilizzanti.

Sostanze inquinanti non biodegradabili - Nell'industria chimica diverse correnti possono contenere composti non biodegradabili, o solo scarsamente biodegradabili, che non vengono rimossi per via biologica, oppure sostanze tossiche che esercitano effetti inibitori e/o tossici sui microorganismi. In genere tali composti sono prevalentemente xenobiotici, ossia composti di sintesi non presenti in origine nella biosfera. Si deve quindi evitare che tali costituenti siano inviati negli impianti biologici per il trattamento delle acque reflue (nel caso si utilizzino i sistemi biologici come stadio finale del processo depurativo).

Sono numerose le tecniche che si possono adottare per trattare gli effluenti contaminati da sostanze scarsamente biodegradabili e la BAT consiste nel cercare di adottare, tutte le volte che è possibile, quei trattamenti che siano in grado di assicurare il recupero dell'inquinante (nanofiltrazione, osmosi inversa, adsorbimento, estrazione, distillazione, evaporazione e stripping).

Se il recupero non è fattibile, la migliore procedura si basa sull'impiego di tecniche che non richiedono l'aggiunta di additivi chimici e, nel caso in cui sia previsto l'utilizzo di un ulteriore processo biologico di rimozione, potrebbe essere sufficiente trasformare il carico organico refrattario in composti biodegradabili mediante ossidazione, ozonizzazione, riduzione o idrolisi chimica. Infine, se non è possibile controllare per altra via l'effetto inibente o tossico dell'effluente, si può operare mediante ossidazione con aria od incenerimento (soprattutto se il processo è autotermico).

È importante sottolineare che è necessario porre particolare attenzione a quelle tecni-

Tabella 2 - Efficienza di rimozione dei trattamenti chimico-fisici

Efficienza/Trattamento	COD TOC	COD TOC refrattari	AOX ⁽¹⁾	Sali inorganici	N totale inorganico	N-NH4	Metalli pesanti	Fenoli	Olio
Precipitazione				X ⁽²⁾			X		
Cristallizzazione				X ⁽²⁾			Zn, Ni: 1 mg/L		
Ossidazione chimica	TOC>90%	TOC>90%	>80%					X	
Ossidazione ad umido a bassa P	COD: 60-90%	COD: 60-90%	60-90%					X	
Ossidazione ad umido ad alta P	COD: 99% TOC: 95%	COD: 99% TOC: 95%	80%					X	
SCWO ⁽³⁾	>99% ⁽⁴⁾	>99% ⁽⁴⁾	X					X	
Nanofiltrazione	TOC: 80-90%	X	X				>90% ⁽⁵⁾		
Osmosi inversa	X	X	X	~100%			~100%		
Adsorbimento	COD: 50-75%	COD: 50-75%	>90%				Hg: 80%	60-80%	
Scambio ionico	80-99% ⁽⁶⁾ 0,1-10 mg/L	80-99% ⁽⁶⁾ 0,1-10 mg/L		80-99% 0,1-10 mg/L			80-99% 0,1-10 mg/L		
Estrazione	X ⁽⁷⁾	X ⁽⁷⁾	X ⁽⁷⁾					99% <1 mg/L	
Distillazione	X ⁽⁸⁾	X ⁽⁸⁾	X ⁽⁸⁾					96%	
Evaporazione	~100% ⁽⁹⁾	~100% ⁽⁹⁾	~100% ⁽⁹⁾	~100% ⁽⁹⁾			X		
Stripping	99% ⁽¹⁰⁾	99% ⁽¹⁰⁾	X		7 mg/L	<5 mg/L		>99%	
Incenerimento	TOC>99% ~100% ⁽⁴⁾	TOC>99% ~100% ⁽⁴⁾	X ⁽¹¹⁾			X	X	X	X

La X indica che il trattamento è applicabile al composto, ma che non sono disponibili i valori di emissione realizzabili;

1) composti organici alogenati adsorbibili (Adsorbable Organic Halides) - 2) fosfati - 3) Super Critical Water Oxidation - 4) per composti organici - 5) per mercurio organico, inorganico ed i composti del cadmio - 6) composti ionici - 7) buona efficienza con particolari composti presenti in alta concentrazione - 8) buona efficienza con particolari composti in particolari condizioni - 9) per composti non volatili - 10) per composti volatili - 11) sono necessarie speciali apparecchiature per l'incenerimento.

che (quali l'estrazione, la distillazione l'evaporazione e lo stripping) che richiedono considerevoli quantitativi idrici per il raffreddamento o per il lavaggio ed il recupero dei costituenti dalla fase gassosa e prevedere trattamenti alternativi quando la penuria di risorse idriche rappresenta un importante fattore ambientale.

Realizzati gli opportuni pretrattamenti, prima di inviare la corrente all'impianto biologico a valle è necessario effettuare test di tossicità (3) che consentano di prevedere l'impatto di tali composti sull'attività della biomass-

sa. Tale misura può essere effettuata mediante apparecchiature standardizzate, in commercio che operano con specie batteriche particolari, quali i batteri bioluminescenti, oppure con test respirometrici effettuabili direttamente sulla biomassa dell'impianto (4). Risultati dell'applicazione comparata dei due sistemi per la determinazione della tossicità di composti xenobiotici su fanghi biologici sono riportati in (5).

Sostanze inquinanti biodegradabili - I composti organici biodegradabili possono esse-

re rimossi dagli scarichi acquosi attraverso i processi biologici di trattamento.

Se le correnti sono caratterizzate da un elevato carico organico biodegradabile è conveniente sottoporle a pretrattamenti biologici, in modo da non sovraccaricare gli impianti per il trattamento biologico finale. Generalmente si impiegano i processi anaerobici che sono più vantaggiosi in termini di bilancio energetico e permettono di ridurre considerevolmente l'eccesso di fanghi attivi negli impianti biologici a valle. I pretrattamenti biologici sono impiegati anche nel

Tabella 3 - Efficienza di rimozione dei processi biologici

Efficienza/Trattamento	TSS	BOD COD	COD refrattario	AOX ⁽¹⁾	Sali inorganici	N totale inorganico	N-NH ₄	Metalli pesanti	Fenoli
Processo biologico anaerobico		COD: 75-90%; 95-97% ⁽²⁾ BOD: ~100% ⁽²⁾ :		X ⁽³⁾	Solfati 94% 75 mg/L	X ⁽³⁾		Zn: 99%; 0,05-0,15 mg/L ⁽⁴⁾ Cd: >99%; <0,01 mg/L ⁽⁴⁾	
Processo biologico aerobico	10 mg/L ⁽⁵⁾ 99% ⁽⁶⁾	BOD: 40-99% ⁽⁷⁾ COD: 76-96% ⁽⁷⁾	26-68% ⁽⁸⁾	55-98% ⁽⁸⁾		82% ⁽⁶⁾ 4-50% ⁽⁸⁾	96-98% ⁽⁶⁾		75-98% ⁽⁸⁾ >99% ⁽⁵⁾
Nitrificazione/ denitrificazione		X				70-80% 10-20 mg/L	X		

La X indica che il trattamento è applicabile al composto, ma che non sono disponibili i valori di emissione raggiungibili o che sono fortemente influenzati dal tipo di sostanza trattata;

1) composti organici alogenati adsorbibili (Adsorbable Organic Halides) - 2) in combinazione con il processo aerobico - 3) solo la frazione biodegradabile - 4) in combinazione alla precipitazione dei solfati sotto forma di solfuri - 5) con fanghi attivati - 6) con bioreattori a membrana - 7) in relazione al processo impiegato - 8) con biofiltro a letto fisso.

caso in cui i composti caratterizzati da un ridotto grado di biodegradabilità (ma non recalcitranti o tossici), non sono rimossi in modo soddisfacente attraverso il processo biologico convenzionale. A tale scopo sono adatti reattori a biomassa adesa, che, a parità di volume, consentono di operare, rispetto a quelli a biomassa sospesa, con concentrazioni microbiche notevolmente più elevate e quindi garantiscono una maggiore velocità di degradazione.

Come già sottolineato, nella gestione ottimale di un processo biologico è necessario evitare di sovraccaricare eccessivamente l'impianto o di introdurre sostanze inquinanti con possibile effetto inibente e/o tossico. A tal fine è consigliabile provvedere ad uno

stoccaggio della corrente influente a monte della sezione di trattamento per equalizzare il carico inquinante e sfruttare gli effetti sinergici (ad esempio la neutralizzazione) delle diverse correnti.

Efficienze di rimozione delle diverse tecniche applicabili nel settore chimico industriale

Nelle Tabelle 1, 2 e 3 (modificate da (1)) si riportano le efficienze di rimozione delle diverse tecniche applicabili per il trattamento degli scarichi acquosi nel settore chimico industriale.

In particolare, la Tabella 1 si riferisce alle tecniche comunemente adottate per l'abbattimento delle sostanze in sospensione presenti

negli scarichi acquosi, mentre la Tabella 2 riporta essenzialmente le efficienze di rimozione dei composti in fase solubile ottenibili mediante trattamenti chimico-fisici che, attualmente, rappresentano le tecniche maggiormente impiegate per la rimozione di tali sostanze. Un caso particolare è rappresentato dall'incenerimento, tecnica usualmente impiegata per lo smaltimento dei fanghi, ma che può essere utilizzata anche per acque di scarico ad elevato contenuto di sali ed in presenza di composti tossici e/o non facilmente biodegradabili che non possono essere efficacemente ed economicamente rimossi con altre tecniche.

I valori di emissione associati ad un corretto impiego di tutte le migliori tecnologie dispo-

IPPC Directive - Analysis of the Best Available Techniques for Wastewater Treatment Systems in the Chemical Sector

ABSTRACT 

The Best Available Technique (BAT) concept is the key point of the IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) Directive whose objective is the environmental performance improvements of the industrial system. In the present paper a critical analysis of the Bref (BAT REFERENCE document) related to the Treatment Systems for wastewater in the chemical sector is presented. Treatment processes and technologies generally employed in the chemical industry to remove contaminant load from wastewater streams are reviewed and advantages and drawbacks are highlighted.



nibili sono relativi ad emissioni non diluite con acque di raffreddamento, o piovane, non inquinate. Per facilitare il confronto tra strategie che impiegano o meno i processi biologici per il trattamento degli scarichi, la capacità depurativa, espressa in termini di COD residuo, si valuta in base al carico inquinante originario (prima cioè che la corrente sia sottoposta agli opportuni trattamenti per il recupero e riciclo degli inquinanti).

I livelli di emissione associati alle BATs si riferiscono ai valori di concentrazione successivi ai processi di trattamento biologico centralizzati. Se lo scarico da trattare è inviato in un impianto municipale si deve dimostrare (ad esempio attraverso delle prove di laboratorio) che si possono ottenere gli stessi risultati. I livelli di emissione associati all'implementazione delle BATs non vanno intesi come limiti di emissioni, ma semplicemente come prestazioni a cui tendere nella progettazione di un nuovo impianto o nell'adeguamento di un sito già esistente, senza escludere la pos-

sibilità di realizzare risultati migliori in relazione alle specifiche condizioni locali.

In molti casi, nel documento Bref, non sono riportati i livelli di emissione associati alle BATs e relativi a particolari composti (come, ad esempio, per i metalli pesanti). Ciò nasce dalla pratica difficoltà di definire in modo generale tali valori in quanto essi dipendono, oltre che dal trattamento di rimozione adottato, anche, e soprattutto, dal particolare processo produttivo che genera l'inquinante e dalla matrice acquosa in cui è presente.

Come si può osservare dai dati di Tabella 1 le tecniche di separazione meccanica presentano in generale un'elevata efficienza di rimozione; gli intervalli di variabilità riportati per alcune delle operazioni (quali la sedimentazione e la filtrazione) dipendono, oltre che dalla concentrazione e dalle proprietà dei contaminanti insolubili presenti nella corrente da trattare, anche dalle condizioni operative adottate. Generalmente, anche con le tecniche di rimozione dei

composti in fase disciolta si ottengono elevate prestazioni che sono principalmente legate alle caratteristiche chimico-fisiche dell'effluente da trattare (pH, temperatura, composizione, concentrazione ecc). Inoltre, quasi tutti i processi di rimozione di composti solubili generano delle fasi concentrate nel componente che si vuole eliminare; dette fasi possono essere liquide (nanofiltrazione, osmosi inversa, scambio ionico, estrazione, distillazione), solide (precipitazione, cristallizzazione, adsorbimento), gassose (stripping, distillazione) od anche una loro combinazione. Affinché l'efficienza depurativa sia "reale", vale a dire affinché non si realizzi semplicemente il trasferimento dell'inquinante da una fase ad un'altra, ma si garantisca la sua effettiva degradazione, è sempre necessario prevedere ulteriori trattamenti di rimozione o smaltimento posti a valle delle unità suddette e valutare l'efficienza globale di rimozione ottenibile.

Infine, l'efficienza di rimozione dei processi biologici è correlata all'efficienza dei pretrattamenti, che dovrebbero assicurare un carico refrattario e/o tossico nullo (o almeno molto basso) all'impianto biologico.

In ogni caso, è sempre possibile migliorare la resa del processo depurativo adottando un'opportuna successione delle operazioni in relazione alle peculiari caratteristiche della corrente da trattare ed ai risultati che si vogliono ottenere. Tale approccio va considerato nella progettazione di un impianto per il trattamento delle acque di scarico industriali in modo da garantire il raggiungimento delle specifiche preposte mediante la combinazione ottimale di varie tecniche di abbattimento.

Bibliografia

- (1) Integrated Pollution Prevention and Control-Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management System in the Chemical Sector-February 2003; European Commission, JRC,

Siviglia; pp. 440.

- (2) M.C. Tomei, G. Cento, *Chimica e Industria*, 2004, **86**(9), 36.
- (3) D.J.B. Dalzell *et al.*, *Chemosphere*, 2002, **47**, 535.
- (4) M. Gutierrez *et al.*, *Water Research*, 2002, **36**, 919.
- (5) G. Ricco *et al.*, *Water Research*, 2004, **38**, 2103.